

**ФОРМИРОВАНИЕ РЕЖИМА БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
В СЕВЕРНОМ КАСПИИ И ИНТЕНСИВНОСТЬ ОБРАЗОВАНИЯ
ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ФИТОПЛАНКТОНА**

Канд. хим. наук М. В. ФЕДОСОВ, Л. А. БАРСУКОВА

В формировании режима биогенных элементов в Северном Каспии большую роль играет биогенный речной сток. После зарегулирования стока р. Волги, а в дальнейшем и р. Урала изменится соотношение между водами Северного Каспия и ежегодно поступающим в него речным стоком.

Биогенный речной сток не только изменится в количественном отношении, но произойдут и некоторые изменения качественного характера, может измениться и состав стока.

Прежде всего большое количество взвешенных частиц будет оседать в пределах водохранилищ.

Уменьшение глубин в Северном Каспии приведет к увеличению воздействия ветрового перемешивания и ветровых течений на донные отложения. Произойдет в отдельных случаях перемещение донных отложений. Увеличится степень вентиляции придонного слоя водной толщи. Может произойти изменение интенсивности перехода биогенных элементов из донных отложений в водную толщу.

Расчет показывает, что если (один из вариантов) после устройства водохранилищ на реках Волге и Урале, в результате зарегулирования речного стока и использования его частично на обводнение прикаспийских степей, поступление речных вод в Северный Каспий уменьшится и составит 73% от среднемноголетней величины, то с уменьшением поступления речных вод в море на 27% произойдет уменьшение и биогенного речного стока. К этому времени объем Северного Каспия будет составлять 35,2% от среднемноголетнего его объема в случае дальнейшего снижения уровня моря.

Уменьшение речного биогенного стока не произойдет строго пропорционально уменьшению водного речного стока, так как и качественный состав его изменится. Прежде всего выше плотины осядет большое количество взвеси, содержащей биогенные элементы. После зарегулирования реки характер разливов изменится, вследствие этого и роль дельты р. Волги в формировании гидрохимического состава речной воды будет иная.

Гидрологический режим будущих водохранилищ, отличный от речного режима, окажет влияние на величину концентрации биогенных элементов в донных водах этих водохранилищ, что в свою очередь не может не иметь влияния на конечный биогенный сток в море. В зависимости от того, какие воды из водохранилища будут сбрасываться в нижний бьеф, поверхностные или донные, отстойные или паводковые будет меняться и качественный и количественный биогенный состав речной воды, попадающей в море.

В течение последних лет проводились работы по дальнейшему изучению гидрохимии Северного Каспия и дельты р. Волги. Эти работы дали новый более полный гидрохимический материал по району водообмена Северного Каспия со Средним Каспием. Полученный в 1952 и 1953 гг. гидрохимический материал позволил значительно уточнить качественную и количественную характеристику обмена биогенными элементами между этими частями моря, а также позволил дать подробную качественную и количественную характеристику волжского стока. В 1953 г. была получена возможность наиболее подробно на фактическом материале дать характеристику речному стоку не только в отношении растворенных минеральных соединений биогенных элементов, но и в отношении органических соединений биогенных элементов во взвешенном и растворенном состоянии с весьма детальным разделением на фракции по величине взвесей.

Полученные гидрохимические материалы позволили в 1953 г. на основании фактического материала дать количественную характеристику годовых колебаний полного биогенного стока р. Волги, обеспечивающей 95% притока пресных вод в Северный Каспий.

РЕЧНОЙ СТОК В СЕВЕРНЫЙ КАСПИЙ И ЕГО ИЗМЕНЕНИЯ

Среднегодовое речное стока четырех рек, непосредственно впадающих в Северный Каспий, в 1877—1932 гг. был 282,4 км³, а за десятилетие с 1944 по 1953 гг. он составил только 265,4 км³ и по отдельным рекам распределялся следующим образом (табл. 1).

Таблица 1

Распределение речного стока между реками, впадающими в Северный Каспий

| Реки | Период наблюдений | Среднегодовой сток в % |
|--------------------------------------|-------------------|------------------------|
| Волга | 1944—1953 гг. | 95,2 |
| Урал | 1944—1953 гг. | 4,2 |
| Кума, рукава Терека, Маныч | — | 0,6 |

За период с 1933 по 1953 г. максимальный сток р. Волги наблюдался в 1947 г. Принимая величину этого стока за 100%, можно отметить, что наиболее низкие величины паводков приходились на период с 1933 по 1940 г.

С 1941 по 1949 г. происходило некоторое увеличение речного стока, а с 1950 по 1954 г. он в известной степени стабилизировался на более низком уровне (см. табл. 1, статья М. И. Фокина, Речной сток Каспийского моря).

Несколько иная картина наблюдалась в р. Урале (табл. 3). Наименьшие величины стока этой реки приходились также на период с 1935 по 1940 г. В 1941 и 1942 гг. произошло резкое повышение стока с последующими колебаниями его величины (см. табл. 5, статья М. И. Фокина, Речной сток Каспийского моря).

Водосборные площади указанных рек не одинаковы по величине; характер сноса в море солей и биогенных элементов у них различен.

Волга — равнинная река на всем протяжении. Химический состав ее воды формируется главным образом в зоне верхнего и среднего плё-

сов. Обширная площадь ее дельты, состоящей из многочисленных рукавов, речек и протоков с мощно развитой водной и подводной растительностью, в той или иной мере в зависимости от величины паводка заливается водой. Река Урал берет свое начало на отрогах Уральского хребта, далее протекает по равнине ниже впадения р. Сакмары. Она имеет резко выраженный весенний паводок: в апреле — мае проходит около 69% всего годового стока, а за период апрель — июнь — 80%. Воды р. Урала в основном формируются за счет таяния зимних осадков, смывающих соли с водосборной площади среднего и даже части нижнего течения этой реки.

Горная р. Терек вносит основную массу воды в июне — августе. Однако только часть воды этой реки попадает в юго-западную часть Северного Каспия, граничащую со Средним Каспием. Данные, характеризующие время прохождения паводковых вод в реках, впадающих в Северный Каспий, приведены в табл. 2.

Таблица 2

| Реки | Паводковые месяцы | Паводковые воды в % от годового стока |
|-----------------|-------------------|---------------------------------------|
| Волга | Апрель—июнь | 54—58 |
| Урал | Апрель—июнь | 78—80 |
| Терек | Июнь—август | 46 |

Как видно из табл. 2, в р. Урале за апрель—июнь проходит 80% годового стока; это связано с тем, что главное питание реки происходит за счет тающих зимних осадков. В р. Волге же за апрель, май, июнь проходит около 56% всего годового стока, затем бывает осенний паводок в октябре и зимний подъем воды в реке в январе.

Такова основная краткая характеристика водного режима главных рек, питающих бассейн Северного Каспия.

РЕЧНОЙ БИОГЕННЫЙ СТОК И ЕГО ИЗМЕНЕНИЯ

Исследования гидрохимических особенностей волжской воды, проводившиеся во второй половине 30-х годов, затем прекратились и вновь начались уже в более полном объеме в 1951—1952 гг. Работы, проведенные за последние годы Л. А. Барсуковой с сотрудниками КаспНИРО А. П. Чернецовым, А. П. Тимохиной и другими по составленному авторами плану и программе работ, дали обширный и весьма полный гидрохимический материал. Этими работами в значительной мере восполнены пробелы прошлых лет в изученности гидрохимии речного волжского стока в Каспий. Собранные материалы позволили выяснить довольно точно и детально содержание растворенных и взвешенных в речной воде как минеральных, так и органических соединений фосфора и азота — основных биогенных элементов природной воды.

Данные характеризующие биогенный сток р. Волги по материалам 1952 и 1953 гг. по величине четырех основных форм биогенного речного стока, в основном выражаются величинами того же порядка, что и показатели 1938, 1939 и 1940 гг., полученные Н. И. Аничковой, В. С. Галиаковым и дополненные и осредненные пересчетом по отрывочным данным других лет С. В. Бруевичем [3]. Однако гидрохимические материалы за 1952 и 1953 гг. охватывают значительно полнее все формы содержания фосфора и азота в речном стоке. Впервые получены сведения по содержанию фосфора и азота в мелких фракциях речных взвесей.

В табл. 3 приведены данные, характеризующие вынос биогенных элементов р. Волгой в Северный Каспий в наиболее полном его виде, за исключением разделения взвешенных форм по фракциям.

Взвешенные вещества отделяли отстаиванием из 20—50 л речной воды; их количество определяли в воздушносухом состоянии. Отделение мелких взвесей (<1 м) от крупных производилось отстаиванием в течение 24 часов определенного количества природной воды в слое высотой 10 см. Определение азота и фосфора органических соединений проводилось для каждой фракции отдельно. Остальные методы гидрохимического анализа были приняты согласно стандартным прописям.

Таблица 3

Содержание биогенных элементов в воде р. Волги в разные годы
(у г. Астрахани)

| Показатели | 1938 | 1939 | 1940 | 1952 | 1953 |
|--|------|------|------|------|------|
| Продолжительность паводка в днях | 68 | 78 | 95 | 72 | 80 |
| Соединения фосфора в мг/м ³ | 138 | — | 124 | 115 | 114 |
| Р фосфатов | 22 | 32 | 34 | 15 | 13 |
| Р органических растворенных соединений | 21 | — | 50 | 35 | 47 |
| Р взвесей, органических и минеральных | 95 | 124 | 40 | 65 | 54 |
| Соединения азота в мг/м ³ | 1120 | — | 160 | 1124 | 1053 |
| N минеральных солей | 259 | 445 | 259 | 324 | 227 |
| N органический растворенный | 861 | — | 1001 | 300 | 355 |
| N органических взвесей | | | | 500 | 471 |
| Кремний в мг/м ³ | 3160 | 2720 | 3900 | 3633 | 3500 |
| Окисляемость природной воды в мг O ₂ /л | 12,5 | 27,3 | 9,5 | 9,6 | 9,8 |
| Окисляемость фильтрованной воды в мг O ₂ /л | — | 19,5 | 7,5 | 9,1 | 9,2 |

По данным Л. А. Барсуковой, за 1952—1953 гг. концентрация общего фосфора в волжской воде несколько увеличилась (Р 115—126 мг/м³) за счет увеличения содержания в речной воде растворенных органических фосфорсодержащих веществ (Р 46—58 мг/м³). Концентрация фосфатов значительно уменьшилась (Р 9—11 мг/м³). В то же время содержание общего азота сильно возросло (N 1340—1660 мг/м³). Особенно сильно увеличилось содержание растворенных форм азота: азота минеральных солей на 60% (N 400—510 мг/м³) и азота органических соединений на 88% (N 450—590 мг/м³).

Рассматривая изменения содержания в речной воде отдельных форм биогенных элементов в зависимости от величины годового стока, от величины и продолжительности разлива в нижнем течении дельты р. Волги и в зависимости от времени года, можно отметить некоторые характерные особенности.

Прежде всего следует указать, что во время паводка, когда р. Волга сбрасывает в море больше половины своего годового стока, растворенных фосфатов поступает в море наибольшее количество. Содер-

жание фосфатов в волжской воде подвержено колебаниям в течение года до $\pm 50\%$ и более.

За последние годы и особенно за 1952—1953 гг. концентрация фосфатов в волжской воде снизилась более чем в 1,5—2 раза против концентраций, наблюдавшихся в 30-х годах. В то же время по материалам Н. И. Аничковой, систематизированным С. В. Бруевичем [3], известно, что с мая по ноябрь волжские воды, проходящие в море через Никитинский (центральная часть дельты) и Белинский банки, содержат в среднем на 21—25% больше фосфатов, чем воды, проходящие через главное судоходное русло реки (табл. 4).

Таблица 4

Содержание фосфатов в водах главного русла р. Волги и рукавов дельты (в мг Р/м³ в среднем)

| Месяцы | Главный банк | Никитинский банк | Белинский банк |
|-------------------------------|--------------|------------------|----------------|
| Май | 37 | 42 | 49 |
| Июнь | 30 | 27 | 40 |
| Июль | 31 | 48 | 41 |
| Август | 45 | 66 | 56 |
| Сентябрь | 42 | 45 | 50 |
| Октябрь | 46 | 55 | 55 |
| Ноябрь | 18 | 19 | 21 |
| Среднее | | | |
| в мг/м ³ | 35,5 | 43,0 | 44,5 |
| в % | 100 | 121 | 125 |

Такое увеличение концентраций фосфатов в речных водах, промывающих различные водоемы дельты, происходит за счет увеличения растворимости фосфатов в более кислых водах водоемов дельты, откуда они постепенно стекают в дренирующие дельту реки.

Такое же явление обогащения фосфатами речной воды в дельте показали наблюдения Л. А. Барсуковой в 1953 г. (табл. 5).

Таблица 5

Обогащение фосфатами (в мг Р/м³) речной воды дельты р. Волги в 1953 г.

| Месяцы | Дельта р. Волги | | р. Быстрая | Полой Гранушный | Авандельта |
|------------------|-----------------|------|------------|----------------------------------|------------|
| | верх | низ | | | |
| Апрель | 7 | 8 | 10 | 10 Первое время после заполнения | 7 |
| Май | 21 | 21 | 7 | 43 | 6 |
| Июнь | 16 | 17,5 | 14 | 26 | 18 |
| Июль | 8 | 10 | 6 | 83 | 26 |
| Август | 15 | 14 | 16 | — Полой отшнуровался и пересох | 20 |

Фосфаты, накопившиеся в различных водоемах дельты, через ее протоки — рукава — попадают в авандельту, обогащая ее воды летом (см. табл. 5).

В период паводка, по наблюдениям, проведенным в 1936—1938 гг., волжские воды, проходя через дельту, обогащаются фосфором фосфатов в среднем на 43%, а в период межени — на 10% (табл. 6).

Наибольшее обогащение волжской воды фосфатами при этом происходит в Белинском банке (восточная часть р. Волги), затем в Никитинском банке (центральная часть); в Главном банке, наоборот, происходит обеднение.

По наблюдениям, проведенным в 1950 г. (табл. 7), также установлено обогащение речных вод, прошедших через дельту, фосфатами во время паводка (в среднем от 10 до 50%); в наибольшей степени обогащались воды Белинского банка, в наименьшей — Иголкинского банка.

Таблица 6

Концентрация фосфатов (в мгР/м³) в верху (у г. Астрахани) и в низовьях дельты р. Волги

| Участки дельты | Межень | Паводок |
|--|--------|---------|
| Верх | 41 | 30 |
| Низ | 45 | 43 |
| Увеличение концентрации фосфатов в мг/м ³ . . | +4 | +13 |
| в % | +10 | +43 |

Таблица 7

Концентрация фосфатов в р. Волге и различных участках ее дельты в 1950 г

| Дата | Р. Волга (у г. Астрахани) | Никитинский банк (авандельта) | | Белинский банк (авандельта) | | Иголкинский банк (авандельта) | |
|------------------------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| | | Р в мг/м ³ | отклонение в мг/м ³ | Р в мг/м ³ | отклонение в мг/м ³ | Р в мг/м ³ | отклонение в мг/м ³ |
| 8—19 апреля | 7 | — | — | 6 | —1 | 5 | —2 |
| 5—9 мая | 8 | — | — | 20 | +12 | — | — |
| 18—20 мая | 18 | 9 | —9 | 18 | 0 | 18 | 0 |
| 1—2 июня | 11 | — | — | 12 | +1 | 10 | —1 |
| 15—18 июня | 8 | 14 | +6 | 11 | +3 | 9 | +1 |
| 3—5 июля | 9 | 6 | —3 | 20 | +11 | 16 | +7 |
| Среднее за паводок | 10 | 14 | +4 | 15 | +5 | 11 | +1 |
| Процент | 100 | | +40 | | +50 | | +10 |

В меженное время, наоборот, по всем банкам наблюдалось уменьшение фосфатов в низовьях дельты и авандельты (табл. 8).

Осенью, в октябре и ноябре, по Белинскому банку отмечалось небольшое увеличение содержания фосфатов, а по Иголкинскому — уменьшение. Такое распределение фосфатов в меженное время было характерным для 1950 г., так как сток воды отличался своеобразием распределения в послепаводковое время. Уровень воды в дельте и авандельте был очень высоким; такого уровня не наблюдалось за последние несколько лет. Поступление такого большого количества воды объяснялось обилием дождей в верховьях рек Волги и Камы, что вызвало значительное повышение уровня р. Волги (у г. Астрахани) в августе—октябре.

Таблица 8

Концентрация фосфатов в различных районах волжской дельты в межень и в октябре, ноябре 1950 г.

| Дата | Р. Волга (у г. Астрахани) | Никитинский банк (авандельта) | | Белинский банк (авандельта) | | Иголкинский банк | |
|--------------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| | | мг/м ³ | отклонение в мг/м ³ | мг/м ³ | отклонение в мг/м ³ | мг/м ³ | отклонение в мг/м ³ |
| 20—22 июля | 21 | — | — | 16 | —5 | 10 | —11 |
| 1—5 августа | 20 | — | — | 15 | —5 | — | — |
| 18—20 августа | 13 | 5 | —8 | 10 | —3 | 11 | —2 |
| Средняя за межень | 17 | 5 | —12 | 12 | —5 | 10 | —7 |
| | 100% | | —71% | | —29% | | —41% |
| 15—16 октября | 6 | — | — | 7 | +1 | 5 | —1 |
| 10—14 ноября | 5 | — | — | 5 | 0 | — | — |
| Среднее за осенний паводок | 5,5 | — | — | 6 | +0,5 | 5 | —0,5 |
| | 100% | | — | | +9% | | —9% |

Таким образом, характер паводка, его высота и распределение в послепаводковое время оказывают чрезвычайно большое влияние на водный режим дельты, а отсюда и на режим биогенных элементов в воде различных нижеволжских водоемов.

Фосфор органических и минеральных соединений, находящихся во взвешенном состоянии, составляет 70—90% от общего содержания фосфора в речных водах. Колебания концентраций этих соединений фосфора (за 4 года: 1938, 1939 и 1952, 1953) по годам наблюдались в пределах ± 10 —13%.

Содержание фосфора органических растворенных соединений с увеличением продолжительности паводка возрастало. Напротив, содержание фосфора взвесей с увеличением продолжительности паводка уменьшалось (табл. 9).

Таблица 9

Содержание фосфора органических соединений (растворенных и взвесей) в зависимости от продолжительности паводка

| Продолжительность паводка в днях | Р органических растворенных соединений в мг/м ³ | Р взвесей в мг/м ³ |
|----------------------------------|--|-------------------------------|
| 68 | 21 | 95 |
| 72 | 35 | 65 |
| 80 | 36 | 60 |
| 95 | 50 | 40 |

Приведенные данные характеризуют процесс формирования этой части биогенного речного стока.

Органические легкорастворимые соединения фосфора в отличие от фосфатов не имеют предельной растворимости в природных речных водах и переходят в раствор тем больше, чем больше залита пойма и дельта реки. Внутригодовое распределение концентраций растворенных органических и взвешенных форм фосфора показывает, что наи-

большие концентрации фосфора органических растворенных соединений в реке наблюдаются в период разлива реки, а наибольшее содержание фосфора взвесей совпадает в основном с наибольшим содержанием взвесей в речной воде, т. е. зависит от степени эрозии почвы (табл. 10).

Т а б л и ц а 10

Внутригодовое распределение концентраций фосфора органических растворенных соединений, фосфора взвесей и общего количества взвесей в реке

| Дата | Р. Быстрая | | | Р. Волга | | |
|----------------------|--|-------------------------------|---------------|--|-------------------------------|---------------|
| | Р органических растворенных соединений в мг/м ³ | Р взвесей в мг/м ³ | взвеси в мг/л | Р органических растворенных соединений в мг/м ³ | Р взвесей в мг/м ³ | взвеси в мг/л |
| 27 апреля | 94 | 28 | 65 | 60 | 33 | 70 |
| 20 мая | 104 | 68 | 102—70 | 66 | 83 | 79—171 |
| 11 июня | 82 | 39 | 44—29 | 59 | 56 | 82—27 |
| 18 июля | 24 | 6 | 27 | 22 | 31 | 24 |
| 3 сентября | 4 | 5 | 14 | 15 | 34 | 13 |

Наибольшая концентрация взвесей в речной воде наблюдается до пика паводка, в период, когда происходит резкое увеличение скоростей течения в реке.

При прохождении через дельту волжские воды то обогащаются, то обедняются органическими соединениями фосфора и фосфором взвесей при различных гидрологических условиях по-разному. Соответственно и авандельта (предустьевое пространство) то обогащается, то обедняется этими соединениями фосфора. Колебания концентраций фосфора органического растворенного достигают в низовьях дельты +14% и —25% от содержания его в воде в верху дельты реки. В авандельте эти относительные колебания достигают ±50% в отдельных случаях и в среднем не более ±20%.

Колебания концентраций фосфора взвесей по нижнему участку дельты относительно содержания его в верху дельты достигают в среднем ±18% и в отдельных случаях 100%; для авандельты эти относительные колебания составляют в среднем ±35%, достигая в отдельных случаях свыше 100%.

Такие большие колебания в содержании фосфора взвесей в речных водах, особенно когда они попадают в авандельту, показывают, что содержание их в воде зависит во многом от интенсивности течения и ветрового взмучивания в данном месте.

Основное количество содержащегося в речной воде солевого азота состоит из нитратов, аммонийных солей и первичного продукта распада белковых веществ — аминокислот. Однако и соли азотистой кислоты встречаются в паводковых водах в значительных количествах. Содержание нитратов и нитритов в природных водах зависит от характера окислительно-восстановительных процессов в водной среде. В зависимости от него меняется интенсивность первой и второй стадии нитрификации аммонийных солей или возникает процесс денитрификации в условиях пониженного содержания кислорода в природной воде.

Содержание солевого азота в речной воде выше дельты колеблется по годам в пределах от ±8 до 12%; сброс в море соединений азота зависит во многом от величины водного стока.

Увеличение содержания растворенных форм азота в речной воде, наблюдавшееся в 1954—1955 гг., следует считать временным явлением.

В период заполнения ложа Куйбышевского водохранилища и становления его гидрологического режима в воду переходило большое количество соединений азота в результате разложения затопленной растительности и других органических остатков.

Наиболее высокие концентрации солевого азота в речной воде образуются в самом начале паводка за счет первых снеговых весенних вод, так как концентрация солей азота в атмосферных осадках весьма велика. При наибольшем водном стоке образуется и наибольшая концентрация солевого азота в речной воде, при этом воды более позднего паводка, по-видимому, содержат больше солевого азота (табл. 11).

Таблица 11

**Содержание солевого азота в речной воде
в зависимости от величины паводка и времени начала
весеннего паводка**

| Год | Начало паводка | Величина стока в % | Азота солевого в мг/м ³ |
|------|----------------|--------------------|------------------------------------|
| 1953 | Раннее | 100 | 312 |
| 1952 | Позднее | 98 | 324 |
| 1940 | Раннее | 81 | 259 |
| 1938 | Позднее | 76 | 259 |

Авандельта обогащается минеральными солями азота в самом начале прохода паводковых вод, задолго до пика паводка, за счет талых снеговых вод.

Суммируя все наблюдения, проведенные в дельте р. Волги в 1936—1938 гг., можно обнаружить, что концентрации солевого азота в нижнем участке дельты иногда больше соответствующих величин в верхней ее части (табл. 12, 13).

Таблица 12

**Динамика изменения содержания солевого азота (в мг/м³)
в водоемах дельты и авандельты**

| Месяцы | Р. Быстрая | Полой Гранушный | Авандельта |
|--------------------|------------|-----------------|------------|
| Апрель | 289 | 198 | 289 |
| Май | 351 | 167—128 | 282 |
| Июнь | 170 | 148 | 144 |
| Июль | 110 | 137 | 106 |
| Сентябрь | 33 | — | 36 |

Таблица 13

**Изменение концентрации солевого азота в речной воде
при прохождении через дельту р. Волги**

| Верх дельты | Низ дельты | Изменение концентрации в % |
|-----------------------|--|----------------------------|
| 67 мг/м ³ | Меженные воды 86 мг/м ³ | +28 |
| 177 мг/м ³ | Паводковые воды 234 мг/м ³ | +39 |

Волжские воды обогащаются солями азота и в первую очередь аммонийными солями в среднем на одну треть за счет распада растительности в дельте: тростниковых зарослей и мягкой подводной растительности.

Содержание азота органических соединений в речной воде достигает наибольшей величины в период наибольшего разлива, когда большие площади почвы с растительными остатками промываются паводковыми водами. В это время в полях дельты концентрация азота органических соединений возрастает в несколько раз.

Воды авандельты в этот период также содержат наибольшее количество азота органических соединений. При этом содержание азота органических взвешенных веществ достигает большой величины уже в начале паводка, превышая осенне-зимние концентрации в 2—2,5 раза. В то же время содержание азота органических растворенных веществ в несколько раз (2—4 раза) ниже зимних концентраций. Отсюда видно, что солевой растворенный азот и азотсодержащие растворенные органические вещества концентрируются в речной воде в осенне-зимний период в результате накопления продуктов распада отмерших организмов, в основном растительных. Эти формы соединений азота проходят с первыми паводковыми водами. Напротив, высокие концентрации азота взвешенных органических веществ в речных водах образуются только в результате смыва остатков растительных и животных организмов с поверхности заливаемой речной водой суши. С увеличением степени зарегулирования р. Волги и переводом ее с речного режима на озерный изменится и содержание в речной воде биогенных элементов (табл. 14).

Таблица 14

Содержание фосфатов (в $мг/м^3$) в нижнем течении р. Волги за 1936—1953 гг.

| Годы | Содержание P-PO ₄ | Годы | Содержание P-PO ₄ |
|--|------------------------------|--|------------------------------|
| 1936 | 37,5 | 1947 | 16 |
| 1937 | 43 | 1948 | 21 |
| 1938 | 22 | 1949 | 17 |
| 1939 | 33 | 1950 | 11 |
| 1940 | 34 | 1951 | 10 |
| 1941 | 36 | 1952 | 15 |
| 1945 | 36 | 1953 | 13 |
| 1946 | 34 | В среднем 15 $мг/м^3$ при водном стоке 120% | |
| В среднем 34,5 $мг/м^3$ при водном стоке 100% | | | |

Примечание. Щербаковское водохранилище заполнялось волжской водой в 1941—1942 гг.

Снижение концентрации фосфатов в речной воде произошло за счет потребления их в водохранилищах фитопланктоном. Еще больше повлияло на снижение концентрации фосфатов в речной воде уменьшение разлива паводковых вод.

С 1936 по 1941 г. и с 1945 по 1946 г. в среднем концентрация фосфатов в речной воде равнялась 34,5 $мг P/м^3$.

После 1946 г. концентрация снизилась примерно до 15 $мг P/м^3$, т. е. на 56%. В то же время водный сток р. Волги за второй упомянутый период увеличился на 20% против первого периода.

В период 30—40-х годов фосфатный фосфор составлял 16—27% от общей концентрации фосфора в речной воде. В последние годы концентрация фосфатов составляла около 13% от концентрации суммарного фосфора различных форм в речной воде.

После сооружения водохранилищ в нижнем течении реки содержание фосфатов в речной воде, судя по материалам Л. А. Барсуковой, снизилось еще больше. Вследствие этого сток с речной водой в море фосфора в форме фосфатного соединения, непосредственно усваиваемого фитопланктоном, уменьшится.

Однако наибольшие качественные изменения состава биогенного речного стока произойдут за счет биогенных элементов, содержащихся в крупной фракции взвесей. В волжской воде около 23% от общей концентрации фосфора содержится фосфора соединений, входящих в состав крупной взвеси, которая вся осядет в водохранилище. Ниже водохранилища за счет эрозии водосборной площади река вновь обогатится фосфором крупной фракции взвеси, однако степень этого обогащения может быть иной. Ниже начала ахтубинской поймы это обогащение будет наименьшим, за исключением периода промывания этой поймы и дельты р. Волги.

Азот детрита, органических остатков, взвешенных в речной воде, в 1952 и 1953 гг. составлял 45% от общей концентрации азота различных соединений в этой воде. Из них около 43,5% приходится на азот крупной фракции взвеси. В результате общее количество азота в речной воде состоит в среднем на 20—23% из азотосоединений, входящих в состав крупной взвеси.

Соответственно величине водности реки азот крупной фракции органических остатков составляет в суммарном годовом речном стоке в среднем 19%. В то же время в суммарном годовом стоке р. Волги фосфор соединений, входящих в состав крупной фракции речной взвеси, составляет в среднем 26%.

Наиболее полный и детально обоснованный количественный состав биогенного речного волжского стока, соответствующий современной величине речного стока, характеризуется следующими величинами.

**Вынос биогенных элементов (в тыс. т) р. Волгой
в Северный Каспий (по данным 1938—1940, 1952 и 1953 гг.)**

| Биогенные элементы | Количество |
|--|------------|
| Фосфор: | |
| суммарный | 26,0 |
| фосфатов | 3,3 |
| взвесей и органических соединений | 22,7 |
| органических растворенных соединений | 8,9 |
| взвесей | 13,8 |
| Азот: | |
| суммарный | 260,0 |
| солевой | 71,0 |
| органических соединений | 189,0 |
| органических растворенных соединений | 76,0 |
| детрита и органических остатков | 113,0 |

От средних суммарных величин, приведенных выше для соединений фосфора и азота, отклонения были сравнительно незначительными. В то же время величины, характеризующие содержание и вынос отдельных соединений фосфора и азота, отклоняются от средних величин на 25—50%.

За 4 года, по которым имеется наиболее полный гидрохимический материал, речной сток соединений фосфора колебался в пределах $\pm 5\%$. Величина стока соединений азота колебалась значительно, однако колебания не превышали $+15$ и -11% .

За последние 2 года эти колебания были еще меньше: для фосфора $\pm 1\%$, для азота $\pm 2\%$.

За 4 года водный сток соответственно изменялся в пределах -14% $+10\%$, а за последние 2 года — в пределах $\pm 1\%$.

В табл. 15, 16, 17 приводим главнейшие данные о среднегодовом содержании биогенных элементов в р. Волге (их концентрации и вычисленные пропорционально дебиту р. Волги по отдельным месяцам валовые количества).

Таблица 15

Изменения концентраций биогенных элементов и валового сброса их в Северный Каспий в 1938, 1940, 1952 и 1953 гг.

| Элементы | 1938 г. | | 1940 г. | | 1952—1953 гг. | |
|-------------------------------|---------------------|----------|---------------------|----------|---------------------|----------|
| | в мг/м ³ | в тыс. т | в мг/м ³ | в тыс. т | в мг/м ³ | в тыс. т |
| P суммарный | 138 | 24,7 | 124 | 23,6 | 115 | 26,0 |
| P PO ₄ | 22 | 3,9 | 34 | 6,5 | 14 | 33,3 |
| P связанный (общий) | 116 | 20,8 | 90 | 17,1 | 101 | 22,7 |
| N суммарный | 1120 | 243,0 | 1260 | 315,3 | 1134 | 253,4 |
| N солевой | 259 | 4,6 | 259 | 513 | 322 | 64,0 |
| N органический | 861 | 197,0 | 1001 | 264,0 | 812 | 189,4 |
| Сток в % от многолетнего | | | | | | |
| | | 52,4 | 60,6 | | >72,0 | |

Таблица 16

Количество биогенных элементов (в т), вносимых р. Волгой в Каспийское море (по годам, пропорционально величине стока реки)

| Год | Фосфор минеральный растворимый | Кремний | Азот минеральный растворимый | Год | Фосфор минеральный растворимый | Кремний | Азот минеральный растворимый |
|------|--------------------------------|---------|------------------------------|------|--------------------------------|---------|------------------------------|
| 1936 | 7700 | 630000 | ~37000 | 1947 | 4710 | 882000 | — |
| 1937 | 6400 | ~600000 | 22600 | 1948 | 5490 | 530000 | 14000* |
| 1938 | 3900 | 563000 | ~46000 | 1949 | 3670 | 685000 | 21800* |
| 1939 | ~6000 | 487000 | 81200 | 1950 | 2540 | 614000 | 35600* |
| 1940 | 6500 | 518000 | 51300 | 1951 | 2320 | 490000 | 17800* |
| 1941 | 9360 | 880000 | — | 1952 | 2950 | 705000 | 74900 |
| 1945 | 8070 | 873000 | — | 1953 | 3170 | 821000 | 53200 |
| 1946 | 9550 | 785000 | — | | | | |

* Без азота нитратов.

При оценке валовой величины стока биогенных элементов следует отметить, что годы наблюдений были годами уменьшенных против нормы величин стока р. Волги. В многоводные же годы подробных и детальных наблюдений за режимом биогенных элементов не было, кроме наблюдений по фосфору фосфатов, кремнекислоте и солевому азоту (табл. 17).

По имеющимся наиболее полным гидрохимическим материалам по биогенному речному стоку за 1938, 1940, 1952 и 1953 гг. можно судить о колебаниях содержания фосфора и азота в речной волжской воде и выноса их в море (табл. 18). Так, до 1946 г. включительно р. Волга

Таблица 17

Количество биогенных элементов (в т), вносимых р. Волгой в Каспийское море (по годам, пропорционально величине стока реки)

| Элементы | Авторы материалов | | | | | |
|---------------------------------------|-------------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|
| | С. В. Бруевич | | Н. И. Аничкова | | В. С. Голиаков | |
| | годы | | | | | |
| | 1936 | 1937 | 1938 | 1939 | 1940 | 1941 |
| P минеральный растворенный | 7700 | 6400 | 3900 | 6000 | 6500 | 9359 |
| Si минеральный растворенный | 630000 | 600000 | 563000 | 487000 | 518000 | 880000 |
| N минеральных солей . . | 37000 | 22600 | 46000 | 81250 | 51300 | — |

Продолжение

| Элементы | Авторы материалов | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------------------|--------|--------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Н. И. Винецкая | | | Л. А. Барсукова | | | | | |
| | годы | | | | | | | | |
| | 1945 | 1946 | 1947 | 1948 | 1949 | 1950 | 1951 | 1952 | 1953 |
| P минеральный растворенный | 8067 | 9548 | 4706 | 5487 | 3670 | 2541 | 2320 | 2952 | 3175 |
| Si минеральный растворенный | 872800 | 785500 | 882000 | 529600 | 684700 | 614000 | 489500 | 704800 | 821100 |
| N минеральных солей . . | — | — | — | 14025* | 21790* | 35580* | 17820* | 74980 | 53200 |

* Без нитратов.

выносила в Северный Каспий в среднем за год фосфатов 7190 т, кремния—675000 т и азота минеральных солей—47500 т, а с 1947 по 1953 г. включительно выносила фосфатов 3550 т, кремния—667000 т, азота минеральных солей—59000 т. Вынос фосфатов уменьшился на 52%, сброс рекой в море кремния практически не изменился, а вынос азота минеральных солей увеличился на 24—25%.

Таблица 18

Межгодовые колебания биогенного речного стока (в %)

| Межгодовые колебания от средней величины за приводимые годы | 1938 г. | 1940 г. | 1952 и 1953 гг. в среднем |
|---|---------|---------|---------------------------|
| Водного стока | —14,5 | —1 | +16 |
| Фосфор (суммарно) | —0,5 | —5 | +5 |
| Азот (суммарно) | —11,2 | +5 | —3 |

В основном происходит лишь количественное изменение величины водного стока реки. Однако, когда будут построены плотины в нижнем течении реки, биогенный речной сток изменится и качественно. Химический состав волжской воды формируется в основном в среднем течении, а также в верхнем плёсе нижнего течения реки. От р. Ахтубы биогенный речной сток формируется лишь за счет ее поймы и за счет дельты р. Волги. Весенний и осенний смыв биогенных элементов с прилежащих к реке полупустынных берегов, вероятно, весьма незначителен

и не меняет содержания биогенных элементов в волжской воде. Водоемы р. Ахтубы промываются волжской водой только в период паводка. В меженный период водоемы р. Ахтубы имеют в значительной мере обособленный от р. Волги гидрологический и гидрохимический режимы.

Создание плотины и больших водохранилищ в верхнем течении р. Волги привело к тому, что уже со второй половины 40-х годов средняя концентрация фосфатов в речной воде снизилась и при создании следующих водохранилищ еще уменьшилась. Это привело к уменьшению выноса фосфатов в море.

При зарегулированном речном стоке и образовании новой дельты р. Волги степень заливаемости суши дельты уменьшится. Изменится и воздействие дельты на формирование биогенного речного стока, попадающего непосредственно в предустьевое пространство в Северном Каспии.

При местном (по отдельным водоемам дельты) увеличении содержания некоторых компонентов биогенного стока общая величина годового выноса биогенных элементов в море в 1953 г. при прохождении стока через дельту реки уменьшилась на 2—3%.

Водный сток р. Волги при прохождении через дельту реки уменьшается за счет испарения с зеркала разлива в среднем на 2%.

Все эти и вышеприведенные цифры показывают, что внутригодовые изменения величины биогенного стока не больше межгодовых изменений, которые зависят от общей величины водного стока и режима реки в период паводка.

СОСТАВЛЯЮЩИЕ ВОДНОГО БАЛАНСА СЕВЕРНОГО КАСПИЯ

Для правильной оценки и рассмотрения химической основы кормности водоема и выяснения условий формирования его гидрохимического режима целесообразно определить баланс биогенных элементов этого водоема, который во многом зависит от его водного баланса.

Воды Северного Каспия формируются при постоянном пополнении речным стоком и под влиянием непрерывного водообмена между Северным и Средним Каспием. Вследствие разницы между величиной испарения и величиной атмосферных осадков, выпадающих на зеркало моря, создается дефицит воды в море около 97 км^3 в год. Среднегодовая величина испарения для Северного Каспия определяется в 998 мм [18].

Среднегодовая величина выпадающих на зеркало моря атмосферных осадков измеряется столбом воды в 155 мм . При площади моря 114800 км^2 общая величина атмосферных осадков будет равна $17,8 \text{ км}^3$, величина испарения составит $114,7 \text{ км}^3$. Среднеголетний речной сток (1877—1932 гг.) четырех рек, непосредственно впадающих в Северный Каспий, равен $282,4 \text{ км}^3$.

Основную массу (до 95%) речной воды в море вносит р. Волга, дельта которой лежит в северо-западной части Северного Каспия.

Водный сток рек (первая составляющая баланса), впадающих в Северный Каспий, был рассмотрен выше.

Второй составляющей водного баланса Северного Каспия служит его водообмен со Средним Каспием.

Для определения средней величины водного баланса Северного Каспия необходимо знать интенсивность водообмена его со Средним Каспием.

Так как величина такого водообмена до настоящего времени не была определена, нами проведены свои расчеты.

Для расчета величин водообмена Северного и Среднего Каспия (величин, входящих в водный баланс северной части моря) необходимо

знать величины солености морских и речных вод. Среднеголетняя величина солености воды Среднего Каспия равна 12,7‰ (см. работу Г. Н. Зайцева и М. В. Федосова в настоящем сборнике). Средняя величина солености Северного Каспия за последние 20 лет может быть принята равной 8,5‰. Следует отметить, что в упомянутый период колебания среднегодовой солености в Северном Каспии были очень велики. Наибольшие величины среднегодовой солености достигали 144% от среднеголетней величины. Наименьшая среднегодовая соленость равнялась 46%.

Отклонения за этот период от среднеголетней величины солености в Северном Каспии достигали +44 и -54%. Среднегодовая соленость речной воды равна 0,2‰. Разность между суммой речных вод, стекающих в Северный Каспий, атмосферных осадков за год и величиной объема испаряющейся с его поверхности воды равна 185 км³.

Результаты наблюдений над распределением волжской и уральской воды в море позволяют считать, что только $\frac{2}{3}$ волжской воды, попадая непосредственно в западную часть Северного Каспия, смешивается с морскими водами и то только на 50%.

Значительная часть ($\frac{1}{3}$) волжских струй стремительно проходит сравнительно узкой полосой вдоль западных берегов в Средний Каспий.

Вычисленная нами на основании водно-солевого баланса величина условного водообмена между Северным и Средним Каспием и уточненная в дальнейшем с учетом степени смешения части волжских вод в Северном Каспии равняется в среднем 1070 км³. При этом величина стока из Северного Каспия составляет примерно 625 км³ и величина притока из Среднего Каспия — около 445 км³. Эти средние величины получаются при вычислении водного баланса Северного Каспия на основании величин, составляющих этот баланс. Тот же порядок величин водообмена получается, как нами установлено, и при вычислении водного баланса глубоководной части Каспийского моря.

Соответствующие подобному водообмену на границе Северного и Среднего Каспия скорости течения равны величине около 0,01 м/сек.

Учитывая, что интенсивность истинного водообмена больше интенсивности условного, вычисленного, водообмена, можно считать, что полученная нами среднегодовая величина скорости течения на рассматриваемом разрезе достаточно хорошо отображает среднюю величину наблюдаемых в море скоростей течения.

Принятые нами величины водообмена между обеими частями Каспия являются величинами условного водообмена, которые удовлетворяют водно-солевому уравнению и позволяют вычислять водообмен солей между водоемами или их частями. Величина условного водообмена значительно меньше величины истинного водообмена, возникающего в основном вследствие ветровой деятельности над водоемом. На основании расчетов В. С. Самойленко [23] мы принимаем, что величина фактического водообмена Азовского моря с Черным морем через сравнительно узкий пролив в 1,5—2 раза больше условного водообмена между этими морями. Так как водообмен Северного Каспия со Средним Каспием происходит через живое сечение, значительно превышающее размер живого сечения Керченского пролива, то и фактический водообмен в этой части Каспийского моря должен превышать условный водообмен во много раз больше, чем это имеет место в Азовском море. Фактический водообмен между Северным и Средним Каспием, судя по вышеприведенным данным о скоростях течения в этом районе, больше условного водообмена в 6—8 раз.

Данные, характеризующие водный баланс Северного Каспия приведены в табл. 19.

Таблица 19

Водный баланс Северного Каспия

| Показатели | Приход в % | Показатели | Расход в % |
|---|---------------|---|---------------|
| Приток речных вод | 37,3 | Отток в Средний Каспий . . | 86,3 |
| Атмосферные осадки на зер- кало моря | 1,6 | Испарение с поверхности моря | 13,7 |
| Приток из Среднего Каспия | 61,1 | Итого | 100 |
| Итого | 100 | | |

ОБМЕН БИОГЕННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ МЕЖДУ СЕВЕРНЫМ
И СРЕДНИМ КАСПИЕМ

Для определения величины баланса солей и биогенных элементов при современном состоянии гидрохимических знаний можно взять для расчетов данные по условному водообмену. Эти данные удовлетворяют в первом приближении водно-солевому равенству между двумя частями Каспийского моря. Для решения вопроса о влиянии интенсивности фактического водообмена между Северным и Средним Каспием на величину обмена между ними биогенными элементами нет в настоящее время необходимых и достаточно полных гидрохимических материалов. Однако баланс биогенных элементов Северного Каспия может быть составлен в первом приближении уже на основании данных об условном биогенном водообмене между обеими частями Каспийского моря (табл. 20). Для сбора гидрохимического материала по биогенному обмену с 1952 г. были начаты работы на двух гидрохимических разрезах: между о-вом Чечень и мысом Тюб-Караганский и между о-вами Тюлений и Кулалы. Эти разрезы характеризуют зоны наиболее интенсивного выхода вод из Северного Каспия и зону проникновения в него вод Среднего Каспия.

Таблица 20

Содержание биогенных элементов в водах Северного и Среднего Каспия,
участвующих в водообмене между этими частями моря

| Элементы и их соединения | Воды Северного Каспия | | Воды Среднего Каспия | |
|---|-----------------------|--------|----------------------|--------|
| | в мг/м ³ | в т | в мг/м ³ | в т |
| Фосфор: | | | | |
| минеральный растворимый | 8 | 5000* | 5 | 2225* |
| органический взвешенный и раствори- мый и минеральный взвешенный . . . | 39 | 24390 | 28 | 12460 |
| Всего | 47 | 29390 | 33 | 14685 |
| Азот: | | | | |
| минеральный | 50 | 31250 | 68 | 30260 |
| органический | 565 | 353125 | 400 | 178000 |
| Всего | 615 | 384375 | 468 | 208260 |

* Результаты умножения 8 мг/м³ на 625 км³ и 5 мг/м³ на 445 км³, т. е. на величины водообмена в км³.

В итоге получается следующий результат обмена биогенными элементами между Северным и Средним Каспием.

Из Северного Каспия ежегодно уходит в Средний Каспий избыточное количество минеральных и органических соединений фосфора и азота. Эти данные должны в дальнейшем уточняться, так как они получены главным образом в летне-осенний период. Однако уже сейчас их можно использовать для характеристики интенсивности обмена биогенными элементами между Северным и Средним Каспием.

Результирующие величины обмена биогенными элементами между двумя частями Каспийского моря составляют 15 тыс. т фосфора и 176 тыс. т азота. Азот уходит из Северного Каспия в Средний в основном в виде органических растворенных и взвешенных соединений. Фосфор уходит на 15—20% в виде минеральных соединений.

Фактический двусторонний обмен биогенными элементами между этими частями моря в несколько раз больше его конечного результата.

ОСНОВНОЙ (ВНЕШНИЙ) БАЛАНС БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ

Определив годовые величины биогенного речного стока и водообмена со Средним Каспием, можно вычислить основной, или внешний, баланс биогенных элементов для Северного Каспия. Баланс этот в основном складывается из биогенного речного стока р. Волги и других рек, из притока из Среднего Каспия, из оттока в Средний Каспий и ежегодных количеств биогенных элементов, остающихся в пределах Северного Каспия. Для минеральных соединений азота можно ввести еще величину поступления их в море с атмосферными осадками. Эоловый нанос для биогенных элементов, фосфора и азота в общем балансе имеет незначительный удельный вес и поэтому нами не учитывается [27].

В итоге баланс биогенных элементов для Северного Каспия выражается следующими суммарными величинами (табл. 21).

Т а б л и ц а 21

Внешний баланс биогенных элементов Северного Каспия

| Приход | | | Расход | | |
|--|--------------------|------------------|--|--------------------|------------------|
| | Фосфор в тыс. т | Азот в тыс. т | | Фосфор в тыс. т | Азот в тыс. т |
| Биогенный речной сток* | 27,2 | 272 | Отток в Средний Каспий | 14,7 | 176 |
| Приток из Среднего Каспия | — | — | Количество биогенных элементов, ежедневно остающихся в пределах Северного Каспия . . . | 12,5 | 102,5 |
| Приход с атмосферными осадками | — | 6,5** | | | |
| Всего . . . | 27,2 | 278,5 | Всего . . . | 27,2 | 278,5 |

* Биогенный речной сток рассчитан по материалам для волжской воды с увеличением на 5%, согласно распределению стока между реками.

** Концентрация азота в атмосферных осадках, по литературным источникам, принята 380 мг/м³.

В пределах Северного Каспия ежегодно накапливается в конечном итоге около 12 500 т фосфора и около 102 400 т азота. Это количество биогенных элементов присоединяется к круговороту биогенных веществ внутри водоема.

Биогенные элементы используются в водоеме в процессе фотосинтеза на образование нового растительного вещества. Затем в процессе

распада отмерших организмов и в процессе минерализации они отлагаются в донных осадках или, растворяясь в водной толще, вновь вступают в круговорот в процессе синтеза.

Из всех районов Каспийского моря особой биологической продуктивностью выделяется Северный Каспий, который дает больше половины всей добычи рыбы в этом море. Его кормность весьма велика. Гидрохимические особенности водоема служат той основой, которая в значительной мере определяет величину его кормности.

В результате фотосинтеза в водной толще водоема из минеральных веществ создается новое живое органическое вещество. Только в результате синтеза происходит в водоеме увеличение абсолютного количества органического вещества. Интенсивность образования нового органического вещества из минеральной основы хорошо отображается внутренним балансом и оборотом биогенных элементов и органического вещества.

ЭЛЕМЕНТЫ ВНУТРЕННЕГО БАЛАНСА (ОБОРОТА) БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СЕВЕРНОМ КАСПИИ

Внутренний оборот биогенных элементов характеризует формирование химической основы и интенсивность образования органического вещества в самом море.

Внутренний оборот биогенных элементов в водоеме охватывает следующие этапы: этап ассимиляции биогенных элементов растительными организмами и прежде всего фитопланктоном; этап формирования химических и биологических взвесей из растворенных соединений и живых организмов; этапы осадкообразования из морских и речных взвесей, распада и минерализации органического вещества, скорости растворения взвесей и донных отложений и перехода биогенных элементов из донных осадков и взвесей обратно в водную толщу моря.

В настоящее время мы ограничимся лишь основными характеристиками внутреннего баланса биогенных элементов Северного Каспия:

| Показатели | Фосфор в тыс. т | Азот в тыс. т |
|---|--------------------|------------------|
| Ежегодное прибавление фосфора и азота в Северном Каспии как результат речного стока и водообмена со Средним Каспием | 12,5 | 102,4 |
| Содержится в водной толще Северного Каспия (в среднем одновременно) | 32,0 | 417,0 |
| Ежегодное выделение в донные осадки или переход в крупные морские организмы | 12,5 | 102,4 |

Действительно, по материалам многолетних наблюдений и особенно в результате гидрохимических работ последних лет можно считать, что воды Северного Каспия содержат в среднем (в тыс. т):

| | |
|---|-------|
| фосфатов | 5,4 |
| фосфора взвесей и органических соединений | 26,6 |
| Всего фосфора | 32,0 |
| азота минеральных солей | 34,0 |
| азота органических соединений | 382,0 |
| Всего азота | 416,0 |

Ежегодный вынос биогенных элементов в Северный Каспий речными водами по отношению к количеству этих элементов, содержащихся в водах Северного Каспия, составляет по фосфору 85% и по азоту 65%. Из этих данных видно, какое большое значение имеет речной биогенный сток в ежегодном пополнении Северного Каспия биогенными элементами.

Интенсивность осадкообразования, как составляющая величина внутреннего баланса биогенных элементов, имеет большое значение.

В Северном Каспии ежегодно осаждаются много речной и морской взвеси.

По данным Г. И. Шамова [31], среднегодовая мутность волжской воды равняется в нижнем течении реки 105 г/м^3 . Наши наблюдения (Федосов, 1949) над взвесью в предустьевом пространстве р. Волги показали, что около 40% взвеси оседает у морского края дельты, в предустьевом пространстве. Большое число подводных отмелей, образующихся в этом районе, и быстрый прирост дельты р. Волги подтверждают, что осаждение речных взвесей в этой зоне идет весьма интенсивно. Воды р. Урала более мутны, среднегодовое содержание в них взвеси выражается величиной 292 г/м^3 [31]. Несравненно более мутные воды в Северный Каспий вносят реки Терек и Кума. Учитывая, что р. Волга приносит 95% всей речной воды в Северный Каспий и принимая во внимание осаждение части речных взвесей в предустьевой зоне, можно считать, что за год в северную часть Каспийского моря поступает с речным стоком до 16 млн. т взвесей.

Эоловая аккумуляция [1, 6, 30] в Северном Каспии достигает значительной величины и увеличивает общее количество взвеси, поступающей в эту часть моря, в среднем на 50%. В Северном Каспии происходит также осаждение карбоната кальция, который находится здесь в насыщенном и иногда пересыщенном состоянии. Установлено, что в донных отложениях Северного Каспия содержится около 22% карбоната кальция [3, 7, 21].

Кроме того, ежегодно отмирающие водные организмы образуют около 1—2 млн. т органического вещества, оседающего на дно; это вещество, разлагаясь, образует органическую фракцию донных отложений, равную 1—2% [15]. Часть взвеси из Северного Каспия выносится в Средний в результате двустороннего водообмена этих частей моря.

Среднее содержание взвеси в воде Северного Каспия в зоне водообмена со Средним Каспием, по нашим данным [30], равно 8 мг/л , а в воде Среднего Каспия взвесей содержится в среднем 4 мг/л . Учитывая приведенные выше величины водообмена между двумя частями Каспийского моря, можно считать, что из Северного Каспия в Средний будет выноситься взвеси на 3,3 млн. т больше, чем в обратном направлении.

Таким образом, в Северном Каспии оседает до 28 млн. т взвеси, что составляет при современной площади дна моря слой ежегодного среднего осадконакопления в $0,64 \text{ мм}$. По Бруевичу [5], интенсивность осадкообразования в Среднем Каспии составляет около $0,3 \text{ мм}$, в отдельных районах доходит до $1,7 \text{ мм}$ и для заливов Северного Каспия равняется $1,13 \text{ мм}$ в год.

Так как площадь дна современного Северного Каспия определяется в 85 тыс. км^2 , а средняя величина ежегодных донных отложений близка к $0,6 \text{ мм}$, то ежегодная величина осаждения фосфора может быть определена из следующих соотношений (при расчете удельный вес донных осадков Северного Каспия принят равным 1,21, по Бруевичу):

$$1. \frac{12,5 \cdot 10^{12} \text{ мг Р}}{85,0 \cdot 10^6 \text{ м}^2} = 147 \text{ мг Р/м}^2;$$

$$2. \frac{147 \text{ мг Р} \cdot 10^2}{72,5 \cdot 10^4 \text{ мг осадков}} = 0,02\% \text{ Р.}$$

Средняя концентрация фосфора в донных отложениях Северного Каспия определяется, по аналитическим данным (Будянская), величиной $0,0038\%$ (от $0,01$ до $0,077\%$).

При подобном расчете концентрации азота в донных отложениях содержание его по отношению к ежегодной величине отложений в Северном Каспии составляет около 0,17%.

По данным Т. И. Горшковой и М. П. Гудкова [16], среднее содержание азота в донных отложениях Северного Каспия также составляет 0,173—0,22%.

Часть биогенных элементов, осаждающихся в виде всевозможных взвесей на дно, вновь переходит в водную среду в основном в результате распада и минерализации органической части донных отложений. Интенсивность образования новых количеств органического вещества в мелководном водоеме, каким является Северный Каспий, во многом зависит и от интенсивности перехода биогенных элементов из донных отложений в водную толщу.

Поэтому понятно значение определенных гидрологических условий в водоеме, которые способствуют переходу из донных отложений в воду фосфора и азота, и значение накопления в Северном Каспии донных отложений с большим содержанием органического вещества.

Интенсивный оборот «первичного» органического вещества, главным образом фитопланктона, в мелководном море служит хорошей основой для высокой кормности этого водоема. Интенсивность оборота во многом зависит от условий, обеспечивающих быструю минерализацию взвесей и отдачу в воду из грунта биогенных элементов.

ИНТЕНСИВНОСТЬ СИНТЕЗА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ФИТОПЛАНКТОНОМ

За время вегетационного периода в Северном Каспии в изобилии развивается и отмирает большое количество фитопланктона. Его жизнедеятельностью в основном и определяется то количество первичного органического вещества, которое образуется в море в процессе фотосинтеза из минеральных соединений — так называемых биогенных элементов.

Ежегодный речной сток биогенных элементов обеспечивает непосредственно только часть всего количества фитопланктона, развивающегося за вегетационный период в Северном Каспии. Повторно для синтеза органического вещества используются биогенные элементы, освободившиеся в процессе минерализации ранее отмерших организмов.

Приносимое реками ежегодное количество фосфатов может обеспечить синтез фитоорганизмов в количестве, превышающем лишь в 3—4 раза среднюю биомассу фитопланктона для Северного Каспия. Однако годовая продукция фитопланктона во много раз превышает его среднюю биомассу.

Недостающее количество фосфора и азота для синтеза такого большого количества нового живого органического вещества поступает из Среднего Каспия и из запасов биогенных элементов, находящихся во взвешях и в илах водоема.

Для оценки интенсивности образования органического вещества фитопланктона в результате фотосинтеза в водах Северного Каспия постепенно накапливается материал.

В летне-осенний период 1934 г. в результате фотосинтеза в водоеме образовалось 0,68 мг/л нового растительного органического вещества за сутки [8, 9].

По материалам позднейших работ [19, 20], эта величина в предустьевом пространстве р. Волги с апреля по август 1935 г. равнялась 2,20 мг/л (сухой вес).

В 1952 и 1953 гг. в юго-западных районах Северного Каспия, по определению Л. А. Барсуковой, величина образования нового органи-

ческого вещества (сухой вес) за август—октябрь 1952 г. в среднем (по трем морским пунктам) составила 1,70 мг/л за сутки и в августе—октябре 1953 г. — в среднем 2,12 мг/л за сутки. Средняя величина за 1934 г., полученная по материалам для восточной и западной частей Северного Каспия, меньше данных, полученных для предустьевых и юго-западных районов этого водоема. Дальнейшими наблюдениями подтвердилось, что за последнее время в восточной части Северного Каспия наблюдалась более слабая интенсивность фотосинтеза, чем в западной его части.

Дополнительный материал по интенсивности фотосинтеза растительного органического вещества фитопланктоном в Северном Каспии [12] позволяет уточнить ранее вычисленную среднюю годовую величину интенсивности синтеза органического вещества в этом водоеме. Можно количественно оценить различие в интенсивности фотосинтеза в западной и восточной частях Северного Каспия в 50-х годах. За вегетационный период интенсивность фотосинтеза в западной части больше, чем в восточной, на 25—70% в первой половине года и на 55—170% во второй половине года, что в среднем для года приводит к соотношению этих величин в обеих частях Северного Каспия, равному 1:2.

Материалы по насыщенности воды растворенным кислородом и по распределению величин активной реакции воды (рН), обработанные еще в 1946 г., показывают, что в среднем за семимесячный вегетационный период только половина (51%) акватории Северного Каспия служит ареной активного фотосинтеза [26]. Действительно, в августе по всей акватории моря распределен фитопланктон, находящийся в стадии высокой фотосинтезирующей активности. В весенние месяцы лишь на одной пятой всей площади Северного Каспия протекает фотосинтез с положительным результатом. Кроме того, при семимесячной продолжительности вегетационного периода в Северном Каспии для расчета среднегодовой величины интенсивности фотосинтеза следует принять коэффициент 0,6, т. е. $\frac{7,3}{12}$.

В период высокой интенсивности (август—октябрь) фотосинтез в среднем для западных и юго-западных районов Северного Каспия, по данным за 1934—1936 гг., достигал 0,68 мг глюкозы на 1 л морской воды за сутки [8,9], за 1952 г. — 1,91 мг/л [2], за 1952—1953 гг. — 1,48 мг/л (материалы Боржковской и Барсуковой), по данным за 1954—1955 гг. — 1,55 мг/л [12].

В среднем для западной части водоема для периода большой интенсивности фотосинтеза можно принять величину 1,19 мг/л за сутки. Тогда для восточной части водоема можно принять величину на 46% меньшую, т. е. 0,65 мг/л. За 1953—1955 гг. в восточной части водоема наблюдались средние величины фотосинтеза, равные синтезу 0,63—0,85—0,92 мг/л за сутки. Для всего Северного Каспия в этом случае средняя величина интенсивности фотосинтеза для вегетационного периода 0,92 мг/л, т. е. $\frac{1,19+0,65}{2}$.

Учитывая, что только половина всей акватории Северного Каспия в вегетационный период служит ареной активного фотосинтеза с положительным балансом органического вещества, следует принять за среднюю величину 0,46 мг/л. При пересчете на год, используя приведенный выше коэффициент соотношения вегетационного периода к календарному году, получим среднегодовую величину интенсивности фотосинтеза для Северного Каспия, равную $0,276 \approx 0,28$. Эта величина, равная 0,3 мг глюкозы, синтезируемой в среднем в 1 л морской воды за сутки, очень близка к средней величине, принятой нами в 1953 г.

Приведенные нами цифры, характеризующие годовую величину образования живого вещества фитопланктона, позволяют в настоящее время говорить только о порядке этой величины. Вследствие изменения в будущем объема северной части моря уменьшится и величина нового органического вещества, образующегося за год в процессе жизнедеятельности фитопланктона. Если считать, что состав фитопланктона и интенсивность фотосинтетического процесса останутся те же, то в будущем водоеме меньшего объема будет ежегодно образовываться только 21,5 млн. т органического вещества (вес сухого вещества). Если относительная величина будущего речного стока в Северный Каспий возрастет, можно считать, что химическая основа фотосинтеза в водоеме увеличится. Намеченные работы по химической характеристике донных отложений и по выяснению изменений их состава за последние десятилетия послужат основанием для более тщательного рассмотрения и уточнения баланса органического вещества в Северном Каспии и величин его составляющих.

В настоящее время можно с достаточной точностью считать, что для величины среднесуточного объема Северного Каспия суточная продукция фитопланктона выражалась величиной 200 тыс. т. За год, в период высокого стояния уровня Каспийского моря, могло образовываться до 60—70 млн. т органического вещества фитопланктона. Для современного объема Северного Каспия величина суточной продукции равна 120 тыс. т, соответственно годовая продукция составляет 45 млн. т.

По данным П. И. Усачева [26], фитопланктон Северного Каспия состоит в основном из диатомовых (71%) и весьма незначительного количества перидиниевых и сине-зеленых водорослей, преобладающих в Азовском море. Поэтому, пользуясь новыми дополнительными данными, приведенными в сводках А. П. Виноградова [13], мы приняли, что для образования органического вещества живого планктона упомянутых форм потребуются 3,65% азота и 0,6% фосфора. В абсолютных величинах потребность в фосфоре и азоте для синтеза 45 млн. т органического вещества фитопланктона (сухое вещество) выразится величинами: 270 тыс. т фосфора и 1640 тыс. т азота.

За 1952—1953 гг. получен весьма обширный материал по интенсивности распада органического вещества, содержащегося в морской воде. Однако эти данные получены только для 2 месяцев (август, октябрь) и относятся в основном только к юго-западной части моря.

В юго-западном районе моря в эти месяцы распад органического вещества отмерших организмов идет весьма интенсивно. Это в значительной мере обуславливается высокой температурой воды в указанное время года.

В августе как в 1952 г., так и в 1953 г. наиболее интенсивный распад органического вещества происходил около о-ва Чечень, в то время как у о-ва Кулалы интенсивность распада была весьма незначительной. За 4 суток у о-ва Чечень нестойкое органическое вещество, прежде всего органическое вещество отмершего планктона, в среднем минерализовалось на 99,5%, т. е. практически полностью (расчет сделан по данным табл. 22).

Около о-ва Тюлений в это же время года за 4 суток в среднем органического вещества окислялось 74% в 1952 г. и 56% в 1953 г. В то же время в этом районе было больше всего органического вещества в водной толще.

В юго-восточной зоне западной части Северного Каспия, около о-ва Кулалы, распад и минерализация органического вещества за 4 суток едва достигали 22%. В октябре, когда температура воды понизилась и речные воды распространились по всему водоему, величина интенсив-

Биохимическое потребление кислорода в воде Северного Каспия

| Район, дата | | БПК ₂ | БПК ₅ | К _{БПК} |
|-------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
| О-в Тюлений | | | | |
| 1953 г. | август | 0,59 | 0,98 | 0,089 |
| | октябрь | 0,37 | 0,51 | 0,21 |
| О-в Чечень | | | | |
| 1952 г. | август | 1,55 | 1,67 | 0,555 |
| | октябрь | 0,31 | 0,50 | 0,106 |
| 1953 г. | август | 1,41 | 1,50 | 0,598 |
| | октябрь | 0,69 | 0,93 | 0,229 |
| О-в Кулалы | | | | |
| 1952 г. | октябрь | 0,70 | 0,85 | 0,334 |
| 1953 г. | октябрь | 0,32 | 0,63 | 0,006 |

Примечание. Расчет процента распада органического вещества производится по данным БПК согласно формулам:

$$K_{\text{БПК}} = \frac{1}{n} \lg \frac{\text{БПК}_n}{\text{БПК}_{2n} - \text{БПК}_n}; \quad \text{БПК}_{\text{полн}} = \frac{\text{БПК}_n}{(1 - 10^{-kn})};$$

$$\% \text{ распада} = \frac{\text{БПК}_n \cdot 100}{\text{БПК}_{\text{полн}}}$$

ности распада органического вещества во всех указанных районах стала в значительной мере равномерной. В среднем у о-ва Тюленьего в октябре за 4 суток в 1952 г. окислялось 87% и в 1953 г. — 85% органического нестойкого вещества. Соответственно у о-ва Чечень органического вещества в 1952 г. окислялось 62%, в 1953 г. — 88%, а у о-ва Кулалы в 1952 г. — 95%; в 1953 г. — 61%.

Из приведенных данных видно, что в этом районе моря в летне-осенний период регенерация минеральных соединений биогенных элементов идет весьма интенсивно. Это создает дополнительную возможность развития фитопланктона путем повторной ассимиляции регенерированных соединений биогенных элементов.

ВЫВОДЫ

1. Количество биогенных элементов, вносимое р. Волгой в Северный Каспий за последние 15 лет, изменялось по годам в пределах $\pm 15-16\%$.

2. Волжский речной сток биогенных элементов на 43—45% состоит из соединений фосфора и азота, содержащихся в частицах речной взвеси.

3. Около 50% фосфора взвесей содержится в мелкой фракции взвешенных веществ (детритного, коллоидального характера), которые могут быть субстратом для зоопланктона и микроорганизмов. Азот мелких взвесей составляет около 60% от общего количества азота взвешенных веществ. Фосфор и азот мелких взвесей в речной воде составляют соответственно 22 и 26% от общей концентрации этих элементов в воде.

4. В крупной части речной взвеси, которая оседает при уменьшении скорости течения реки, содержится в среднем 22% фосфора и 19% азота от общего количества этих элементов в речном стоке. Такое со-

держание биогенных элементов во взвешенном состоянии характерно для волжской воды до зарегулирования стока в последнем пятилетии.

5. После сооружения в начале 40-х годов водохранилищ на р. Волге содержание фосфатов в речной воде в нижнем течении реки через несколько лет снизилось на 50%. В среднем концентрация фосфатов за 1936—1946 гг. была равна 34,5 мг P/м³, а за 1947—1953 гг. — всего лишь 15 мг P/м³. За это же время водный сток р. Волги увеличился в среднем со 100 до 120%.

6. Концентрация в речной воде фосфатов, т. е. соединений фосфора, непосредственно используемых фитопланктоном в процессе синтеза органического вещества, в первые годы после создания водохранилищ может вначале повышаться при общей тенденции снижения концентрации фосфатов в реке после зарегулирования ее стока.

В результате прохождения речной воды через дельту в значительной мере увеличивается общее количество органического вещества, выносимого в море. При уменьшении водного стока реки роль дельты в этом отношении понижается.

7. Речной сток биогенных элементов в Северный Каспий уменьшается менее интенсивно, чем за те же сроки уменьшается объем воды в этой мелководной части водоема вследствие снижения в ней уровня воды. Происходит относительное увеличение непосредственного снабжения Северного Каспия биогенными элементами с водами суши. В то же время с падением уровня моря ухудшается смешивание волжской воды с общей массой воды Северного Каспия.

В этой части моря уменьшаются площади дна, покрытые илами, богатыми биогенными элементами. Все перечисленное может уменьшить обеспеченность Северного Каспия биогенными элементами, которые могут вновь использоваться на синтез новых количеств органических веществ.

8. В среднем в Северный Каспий ежегодно с речным стоком и атмосферными осадками поступает около 27 200 т фосфора в разных соединениях и в 10 раз больше азота минеральных и органических соединений. В воде Северного Каспия содержится одновременно до 32 тыс. т фосфора и в 13 раз больше азота различных соединений. Часть биогенных элементов, поступающих в Северный Каспий с суши и из атмосферы, ежегодно уносится в Средний Каспий (около 15 тыс. т фосфора и в 12 раз больше азота). Остальная часть биогенных элементов ежегодно переходит в донные отложения в количестве 12500 т фосфора и в 8—9 раз больше азота.

Некоторый относительный избыток азота должен выделяться в атмосферу и изыматься из водоема преимущественно в виде белковых веществ. Однако прямых данных, подтверждающих это положение, пока еще недостаточно. Перечисленными величинами в первом приближении выражается химическая основа биологической продуктивности Северного Каспия.

9. Основной вегетационный период в Северном Каспии длится с середины апреля до середины ноября, т. е. около 7 месяцев. Подледная вегетация по сравнению с весенне-летне-осенним периодом весьма незначительна. В среднем за год синтезируется 20—21 млн. т органического вещества фитопланктона. Это возможно только при интенсивном обороте биогенных элементов в течение года в мелководном водоеме и в результате усиленного обмена между грунтом и водой.

10. В последние годы было установлено, что в восточной части Северного Каспия интенсивность фотосинтеза была почти в 2 раза меньше, чем в его западной части. В то же время в западной части моря, как и в восточной, фотосинтез достигал наибольшей интенсивности лишь в августе, когда паводковые речные воды распространились уже

по значительной части акватории Северного Каспия, а часть струй волжских вод вышла в Средний Каспий. Все это свидетельствует о том, что меры по регулированию и стабилизации режима Северного Каспия и по обогащению его биогенными элементами целесообразны.

11. В результате проведения мелиоративных работ часть волжских вод (30—40%) должна быть направлена в восточную часть Северного Каспия, а малые дамбы или искусственные острова на границе со Средним Каспием должны удерживать приносимые речным стоком питательные вещества в пределах мелководного Северного Каспия возможно дольше. Эти мероприятия улучшат условия для повышения интенсивности образования органического вещества в пределах этого водоема и создадут предпосылки для повышения его биологической продуктивности.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Аполлов Б. А., Влияние эоловой аккумуляции на обмеление северной части Каспийского моря, Известия Центрального гидрометеорологического бюро, Гидрометиздат, вып. 7, 1927.
2. Барсукова Л. А., Гидрохимический режим волжской авандельты в районе Кировского банка, Труды Каспийского бассейнового филиала ВНИРО, т. XII, Астрахань, 1952.
3. Бруевич С. В., Химия речного стока в Каспийском море, Сборник «Элементы химического баланса Каспийского моря», Труды по комплексному изучению Каспийского моря, АН СССР, вып. 14, 1941.
4. Бруевич С. В., Химия волжского стока в Каспийское море, «Гидрохимические материалы», т. XVI, 1949.
5. Бруевич С. В., Скорость образования донных отложений на Каспийском море, Известия АН СССР, Серия географическая и геофизическая, т. XIII, № 1, 1949.
6. Бруевич С. В., Атмосферная пыль над Каспийским морем, Известия АН СССР, № 4, 1954.
7. Бруевич С. В. и Белов А. И., Карбонаты кальция и магния в донных отложениях Южного Каспия, Труды по комплексному изучению Каспийского моря, АН СССР, вып. 14, 1941.
8. Бруевич С. В. и Иванов К. И., Гидрохимия западной части Северного Каспия по работам 1934 г., Труды I Всекаспийской научной рыбохозяйственной конференции, т. III, Пищепромиздат, 1938.
9. Бруевич С. В. и Федосов М. В., Гидрохимия восточной части Северного Каспия, Труды I Всекаспийской научной рыбохозяйственной конференции, т. III, Пищепромиздат, 1938.
10. Будянская М. Л., Миграция фосфора в донных отложениях, Труды ГОИН, вып. 5 (17), Гидрометиздат, 1948.
11. Винецкая Н. И., О годовых и сезонных колебаниях фосфора и кремния в Северном Каспии, Труды Каспийского бассейнового филиала ВНИРО, т. XI, Астрахань, 1950.
12. Винецкая Н. И. и Барсукова Л. А., Биогенный сток Волги, гидрохимический режим и продукция органического вещества Северного Каспия. Аннотация к работам, выполненным ВНИРО, Сборник 5, М., 1957.
13. Виноградов А. П., Химический и элементарный состав организмов моря, Труды биогеохимической лаборатории АН СССР, тт. III, V и VI, АН СССР, 1935, 1938, 1939.
14. Горшкова Т. И., Исследование детрита в воде и грунте северной части Каспийского моря, Сборник в память академика А. Д. Архангельского, АН СССР, 1951.
15. Горшкова Т. И., Карбонаты и органические вещества в осадках Среднего и Южного Каспия (напечатано в настоящем сборнике).
16. Горшкова Т. И. и Гудков М. П., Изменение содержания органического вещества в осадках Северного Каспия в связи с падением его уровня (напечатано в настоящем сборнике).
17. Гудков М. П., Изменение осадков Северного Каспия, «Природа», 1956, № 1.
18. Зайков Б. Д., Водный баланс Каспийского моря, Гидрометиздат, 1946.
19. Иванов К. И., Основные черты гидрохимического режима предустья р. Волги и северной части Каспийского моря, Труды ГОИН, вып. 4 (16), Гидрометиздат, 1948.
20. Иванов К. И., О зависимости между прозрачностью и содержанием взвешенных веществ, Труды ГОИН, вып. 10 (22), Гидрометиздат, 1948.
21. Кленова М. В., Геология моря, Учпедгиз, 1948.
22. Кузин Н. С., Потери стока р. Волги в районе Волго-Ахтубинской поймы и дельты, «Метеорология и гидрология», 1939, № 9.

23. Самойленко В. С., Ближайшее будущее Азовского моря, Труды ГОИН, вып. 3 (15), Гидрометиздат, 1950.
24. Скопинцев Б. А., Органическое вещество в природных водах, Труды ГОИН, Гидрометиздат, вып. 17 (29), 1950.
25. Усачев П. И., Общая характеристика фитопланктона морей СССР, «Успехи современной биологии», т. XXIII, вып. 1—3, 1947.
26. Усачев П. И., Количественные колебания фитопланктона в Северном Каспии, Труды ИОАН, т. II, АН СССР, 1948.
27. Федосов М. В., Детали гидрохимии Северного Каспия и дельты Волги, Доклады ВНИРО, М., вып. 1, 1952.
28. Федосов М. В., Биохимическое потребление кислорода грунтами Северного Каспия и их относительная регенеративная способность, Труды ГОИН, вып. 10 (22), Гидрометиздат, 1948.
29. Федосов М. В., Взвешенное вещество Северного Каспия, «Метеорология и гидрология», Гидрометиздат, 1949, № 3.
30. Федосов М. В., Эоловая аккумуляция на Северном Каспии, ДАН СССР, т. LXXV, вып. 6, 1950.
31. Шамов Г. И., Сток взвешенных наносов рек СССР, Труды Государственного гидрологического института, вып. 20 (74), Гидрометиздат, 1949.
32. Ястребова Л. А., Хлорофилл в морских осадках, Труды ВНИРО, т. V, Работы по геологии моря, Пищепромиздат, 1938.

Таблица 1
 Средние значения содержания взвешенных наносов в поверхностных водах Северного Каспия (в мг/л) по данным наблюдений в 1950—1952 гг.

| № п/п | 1950 г. | | 1951 г. | | 1952 г. | |
|-------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|
| | Среднее | Максимум | Среднее | Максимум | Среднее | Максимум |
| 1 | 10,5 | 15,0 | 12,0 | 18,0 | 11,0 | 16,0 |
| 2 | 14,5 | 20,0 | 16,0 | 22,0 | 15,0 | 21,0 |
| 3 | 18,5 | 25,0 | 20,0 | 28,0 | 19,0 | 26,0 |

Таблица 2
 Средние значения содержания взвешенных наносов в дельте Волги (в мг/л) по данным наблюдений в 1950—1952 гг.

| № п/п | 1950 г. | | 1951 г. | | 1952 г. | |
|-------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|
| | Среднее | Максимум | Среднее | Максимум | Среднее | Максимум |
| 1 | 25,0 | 35,0 | 28,0 | 40,0 | 26,0 | 38,0 |
| 2 | 30,0 | 45,0 | 32,0 | 48,0 | 31,0 | 46,0 |
| 3 | 35,0 | 50,0 | 38,0 | 55,0 | 36,0 | 52,0 |

Таблица 3
 Средние значения содержания взвешенных наносов в устье Дона (в мг/л) по данным наблюдений в 1950—1952 гг.

| № п/п | 1950 г. | | 1951 г. | | 1952 г. | |
|-------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|
| | Среднее | Максимум | Среднее | Максимум | Среднее | Максимум |
| 1 | 15,0 | 20,0 | 16,0 | 22,0 | 14,0 | 19,0 |
| 2 | 18,0 | 25,0 | 19,0 | 26,0 | 17,0 | 23,0 |
| 3 | 22,0 | 30,0 | 23,0 | 32,0 | 21,0 | 29,0 |