

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ, ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМЫ, ПЕРВИЧНАЯ КОРМНОСТЬ АЗОВСКОГО МОРЯ И ПРОГНОЗ ИХ ИЗМЕНЕНИЙ

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА АЗОВСКОГО МОРЯ

Канд. хим. наук М. В. ФЕДОСОВ, канд. хим. наук
Е. Г. ВИНОГРАДОВА

(ВНИРО)

Для решения вопросов биологической продуктивности и рыбохозяйственной ценности водоема необходимо знать физическое и химическое состояние водной среды, в которой обитают объекты промысла и протекает жизнедеятельность водных организмов.

Основными гидрохимическими особенностями воды, характеризующими ее состояние применительно к развитию водных организмов как среды, выбраны следующие:

1. Степень минерализации (солености) природной воды, определяющая осмотическое давление, которое непосредственно влияет на осморегулирующие функции водных организмов.

2. Степень насыщенности газами водной толщи, газовый режим водоема, который непосредственно связан с дыхательным обменом водных организмов.

3. Первичная биологическая продуктивность морского водоема, которая создается в основном растительными водными организмами при их фотосинтетической жизнедеятельности. Исходной базой фотосинтеза является обеспеченность водоема биогенными элементами. Переход минерального вещества в живое органическое вещество водных организмов в результате фотосинтеза есть проявление первичной продуктивности водоема, его кормности. Химической основой кормности водоема является режим биогенных элементов в нем.

Эти биогидрохимические взаимосвязи и были приняты за основу, определяющую направление гидрохимических исследований. Все эти явления неразрывно связаны с термическим режимом водоема и со степенью освещенности водных слоев. Термический режим и степень освещенности водных слоев влияют на интенсивность многих жизненных процессов водных организмов и биогидрохимических процессов в водоеме.

Настоящая работа освещает основные элементы гидрохимической характеристики Азовского моря. Материалом для нее послужили гидрохимические исследования, проведенные в 1950 и 1952 гг. авторами при комплексном изучении этого водоема Азовской экспедицией. Кроме того, были использованы некоторые гидрохимические данные, полученные В. Г. Дацко в 40-х годах и А. П. Жуковым в конце 30-х годов во время систематических работ на Азовском море.

ОБЩАЯ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОРЯ

Азовское море — громадный высокопродуктивный рыбохозяйственный водоем. Оно мелководно, хорошо прогревается, имеет обильный речной сток.

Большое рыбохозяйственное значение Азовского моря, помимо его высокой кормности, обуславливается в значительной мере большими нерестовыми и выростными водоемами, образовавшимися в пойме дельт Дона и Кубани. Обильно опресняемый Таганрогский залив является основным громадным выростным районом для молоди наиболее ценных пород рыб Азовского моря. Само море служит богатейшим пастбищем как для пелагических планктоноядных и хищных, так и для донных, бентосоядных рыб.

Азовское море занимает площадь 38 тыс. км²; наибольшая длина его 380 км, наибольшая ширина — 200 км; средняя глубина при объеме около 320 км³ равна 8,4 м. Только в отдельных местах глубина достигает 13,6 м. Зона с глубинами более 10 м (от 10 до 13 м) занимает не менее 50% акватории самого моря. Более мелководные зоны моря в основном расположены на востоке и северо-востоке и на западе и северо-западе морской акватории.

Таганрогский залив, примыкающий с северо-востока к морю, занимает площадь около 5280 км² при средней глубине 4,9 м.

Восточная часть залива, в которую поступают воды реки Дона, наиболее мелководна.

С востока и запада море окружено многочисленными водоемами, образованными дельтами рек и лиманами. На востоке эти водоемы опресняются водами Дона и Кубани. На западе лиманы — Сиваш — очень сильно осолонены, так как они почти полностью отчленились от Азовского моря, и количество речных вод, поступающих в них, очень мало.

Площадь всех донских займищ¹, расположенных в пойме нижнего плёса реки, достигала в многоводные периоды 2050 км². На Аксайско-Донские нерестовые водоемы приходилось около 477 км² и на водоемы собственно дельты Дона до 430 км². Центральные кубанские лиманы занимали до 500 км², из них 390 км² могут быть мелиорированы для рыбохозяйственных целей.

Бейсугские лиманы занимают 350 км². Группа Ахтанизовско-Гатаровских лиманов имеет акваторию до 120—150 км². Всего в дельте р. Кубани до 1000 км² мелководных (около 1—2,5 м глубины) водоемов, так называемых кубанских лиманов. В Таганрогском заливе с севера и юга имеются два приустьевых лимана-залива на реках Ея и Миус. Ейский залив занимает площадь около 200 км², а Миусский лиман всего около 30—50 км².

Западные солевые лиманы, которые в настоящее время имеют очень небольшое рыбохозяйственное значение, занимают общую площадь до 2440 км², в том числе:

площадь оз. Молочного	около 200 км ²
площадь плесов оз. Сиваш:	
западного	» 420 »
восточного	» 1340 »
южного	» 480 »
Всего	2440 »

К этим лиманам примыкает полузамкнутый Утлюкский залив площадью до 600 км².

Расположенные на юге открытые Казантипский и Темрюкский заливы составляют одно целое с морем.

¹ Полойные водоемы Дона.

На юге, почти в центральной части южного побережья, Азовское море соединяется с Черным морем Керченским проливом, через который происходит двусторонний, обычно попеременный, водообмен.

Донное ложе Азовского моря представляет собой подводную равнину с встречающимися лишь иногда изменениями рельефа на 2—3 м. Область глубин от 0 до 5 м занимает прибрежную незначительную полосу и несколько большую площадь в Утлюкском лимане, у восточного берега в районе банки Елениной и перед лиманами Бейсугский и Ахтарский. Это область песчанистых, ракушечных грунтов. В этом же районе и дальше до Железинской банки, а также в северо-западной части моря расположены области с твердыми грунтами, ракушечно-песчанистого характера с примесью ила. В центральной части моря и Таганрогского залива преобладают илистые грунты.

Берега по северному побережью Азовского моря и залива возвышенные. В юго-западной части берега также сравнительно высокие, круто спускающиеся к морю. Западные, восточные и юго-восточные берега моря низменные.

Берега Азовского моря изобилуют косами. Много кос образовалось по берегам Таганрогского залива и вдоль северного побережья моря. Косы образуются под влиянием волнения и течения, создаваемого ветрами и донским речным потоком. Косами отделены от моря Ахтарский лиман, Молочный лиман и Сиваш.

Азовское море вдается в восточную континентальную часть Европы. Поэтому климат Азовского моря имеет черты континентального характера, чему в значительной степени способствует мелководность и опресненность моря. Однако климат в районе Азовского моря относительно теплый. Наибольший прогрев воды в море наступает к концу июля и достигает в среднем 25—26°. Вода прибрежных мелководий нагревается еще больше (до 30°).

Зимой залив и море замерзают; покрываются льдом лиманы. В феврале морская вода достигает наибольшего охлаждения.

Средняя годовая температура воздуха на побережье близка к +10°. Первые морозы обычно наступают в октябре и ноябре. Минимальная температура бывает в январе и феврале. Из года в год в одни и те же зимние месяцы температура может значительно колебаться. Летом температура воздуха по всему побережью почти однородна. Суточные колебания температуры заметнее летом, чем зимой.

Различие в климатических условиях отдельных районов моря заметнее в холодное время года, с ноября по март, когда юго-западный район оказывается более теплым, чем северо-восточный.

В теплое время года на Азовском море воздух сухой и имеет высокую температуру. Наиболее ветренные погоды бывают в холодное время года. С ноября по март преобладают свежие и сильные ветры. В теплое время года, с апреля по сентябрь штормовых ветров мало, преобладают слабые ветры.

На Азовском море, особенно в холодное время года, преобладают восточные и северо-восточные ветры. В теплое время года возрастает повторяемость ветров западных румбов и спокойных бризовых погод. Бриз с моря начинает дуть спустя приблизительно три часа после восхода солнца, бриз с берега — через два часа после захода солнца. Наиболее часто штормы возникают в холодное время года и преимущественно от восточных румбов; они могут продолжаться много дней подряд и сопровождаться морозами и метелями. Штормы от других румбов более кратковременны и отличаются переменными ветрами.

В теплое время года штормы редки и бывают в виде шквалов с ливневыми дождями и грозами.

Осадков на Азовском море в холодное время года выпадает меньше, чем в теплое. Средние годовые суммы осадков колеблются от 300—350 мм на западе до 450—500 мм на юго-восточном побережье.

Количество осадков, выпадающих в одни и те же месяцы, в разные годы сильно колеблется. В дождливые годы осадки могут в 3—4 раза превышать их среднюю месячную величину.

Раннее выпадение снега может наблюдаться в октябре. В течение зимы снежный покров отличается непостоянством, в особенности в южном и западном районах. На берегах Таганрогского залива снежный покров более устойчив и достигает относительно большей высоты.

ВОДНЫЙ БАЛАНС И ВОДООБМЕН

Водные массы Азовского моря формируются из речных, морских и атмосферных вод, избыток которых после смешения с наполнявшими его собственно азовскими водами за вычетом испарившейся воды уходит через Керченский пролив. Через этот же пролив происходит водообмен между Азовским и Черным морями. Интенсивность этого двустороннего водообмена в основном обуславливается направлением, силой и продолжительностью дующих в этом районе ветров. Интенсивность водостока из Азовского моря в конечном итоге всегда больше за счет избытка воды, образующегося вследствие ежегодного пополнения этого моря пресными водами.

Испарение за год в среднем вдвое превышает количество выпадающих атмосферных осадков на поверхность моря. Однако в конечном счете в Азовском море образуется ежегодный избыток воды, составляющий около 60% годового речного стока. Этот избыток вытекает в течение года с различной интенсивностью и с перерывами через пролив в Черное море.

Суммарный среднегодовое речной сток 1913—1939 гг. в Азовское море составляет около 41 км³ в год. При этом из реки Дон поступало в среднем 28,4 км³, из реки Кубани 11,5 и из рек Ея, Миус и других около 1,1 км³ в год.

По среднегодовым данным, водный баланс можно выразить в следующих соотношениях, считая, что объем моря равен 320 км³.

Приход в %		Расход воды в %	
Речной сток	13	Испарение с акватории моря . . .	10
Атмосферные осадки	5	Сток в Черное море	21
Приток черноморских вод	13		
Итого	31	Итого	31

Основная масса речных вод из Таганрогского залива поступает в западном направлении вдоль северного побережья моря, и постоянная циркуляция воды в море происходит против часовой стрелки. Воды Кубани, поступающие в море главной массой широким фронтом через два основных русла, очень далеко расположенных друг от друга, не нарушают общего режима перемещения водных масс, идущего в море против часовой стрелки.

При большой мелководности моря сильные ветры создают ветровые сгонно-нагонные течения, периодически гонящие воду в различных направлениях. Особенно сильное влияние оказывает ветер в мелководном Таганрогском заливе. В центральной части моря, где наибольшие глубины, создается обширная застойная зона, омываемая круговым течением.

Круговое течение идет вдоль прибрежных мелководий, весьма обширных по всему морю, кроме южной части. Поступление около 70% всей речной воды в северо-восточном углу моря через вытянутый в широтном

направлении Таганрогский залив и происходящий водообмен с Черным морем через сравнительно узкий и длинный пролив в южной части моря обеспечивают значительное смешение всех водных масс, участвующих в формировании водной толщи моря. Мелководность моря и влияние дующих ветров содействует такому перемешиванию водных струй в море.

Однако большая площадь моря и различная плотность вод различной степени минерализации (солености) не позволяют перемешиванию происходить достаточно быстро и в полной мере. Вследствие этого в море создаются отдельные зоны с характерными для заполняющих их вод физическими и особенно химическими свойствами. По характеру водообмена и солености воды, т. е. степени ее минерализации, Азовское море с заливами и окружающими его лиманами можно разделить на ряд районов.

1. Собственно Азовское море с Темрюкским и Казантипским заливами со среднемноголетней соленостью 10,6‰, которая за последние маловодные годы несколько возросла.

В пределах моря по характеру и структуре своего водообмена в свою очередь выделяются: 1) прикубанский восточный район; 2) предпроливный южный район; 3) центральный застойный район; 4) западный, 5) северо-западные почти бессточные районы и 6) район, примыкающий к горлу Таганрогского залива.

2. Таганрогский залив, удлинённый в широтном направлении, в который несет свои воды река Дон. Залив характеризуется более низкой средней соленостью по сравнению с морем и резкими колебаниями ее вследствие поступления с восточной стороны обильного потока речных вод и интенсивного водообмена залива с морем в западной части.

Своеобразное строение берегов залива, образующих с обеих сторон косы и выступающие мысы, обуславливает разделение залива на три части, различные по водообмену и солености. Восточная, средняя и западная части залива имеют характерную для каждой части интенсивность водообмена с морем. Если принять интенсивность водообмена с морем во всем заливе за 100, то интенсивность водообмена для западной части составляет 138%, для средней — 119 и для восточной части всего лишь 59%.

В Таганрогском заливе сильные сгонно-нагонные ветры, дующие иногда продолжительное время в ту или другую сторону вдоль его длинной оси, создают очень большое перемещение вод и изменения уровня.

Помимо резкого изменения уровня в заливе, сгонно-нагонные перемещения воды вызывают и весьма значительные изменения солености, которые особенно велики в восточном, наиболее мелководном районе залива. Они достигают временами нескольких промилле.

3. Донские займища, пойменные и дельтовые пресные водоемы в большинстве сезонного характера, заполняемые речными водами. Степень минерализации вод в этих водоемах низка (около 0,2—0,3‰) из-за сравнительно интенсивного водообмена с речным руслом или небольшого срока существования.

4. Кубанские лиманы с весьма различной структурой водообмена. Одни из них пресноводные (0,2—0,5‰), другие — осолоненные (до 7—9‰).

5. Сиваш с соленостью воды от 23 до 168‰ и очень слабым водообменом в результате почти полного отделения от Азовского моря. Большое количество испаряющейся воды с поверхности лимана при малой глубине в нем вызывает почти постоянный приток воды из моря.

6. Молочный лиман, сообщающийся с Азовским морем через узкий проток, образовавшийся последний раз в 1946 году. Вследствие прекращения в летнее время речного стока в лиман в северной части соле-

ность воды превышает соленость Азовского моря. В южной части, около самого протока, соленость воды приближается к морской.

7. Утлюкский лиман, опресняемый лишь весенними паводочными водами. Расположение косы, отделяющей его от моря, обуславливает сравнительно слабый водообмен залива. Северная мелководная часть летом заполнена водами повышенной солености по сравнению с морской водой.

Как было сказано выше, отдельные районы моря различаются между собой по характеру водообмена.

1. Прикубанский район находится у восточного берега моря, в зоне действия кругового течения с юга на север. Он подвержен в южной и средней части опресняющему влиянию речных вод Кубани. Вследствие сравнительной мелководности сгонно-нагонные течения здесь обуславливают интенсивное перемешивание морских вод с речными. Но подводные отмели — Железинская и Еленинская банки придают северной части этого района несколько обособленный характер.

Этому способствует и сравнительно глубоко вдающийся в материк Ахтарский залив, самая восточная часть Прикубанского района. Прикубанский район сильнее опресняется в послепаводковый период, чем в иные сезоны года.

2. Предпроливный южный район, в который поступают более соленые воды из Черного моря. В этом районе Азовского моря происходит водообмен с Черным морем, протекающий весьма интенсивно под влиянием ветров, дующих в ту или другую сторону вдоль пролива. Годовой водообмен в обе стороны достигает величины, равной не менее половины объема самого моря [15]. Однако поступающие через пролив воды Черного моря часто полностью не смешиваются с азовскими водами и вытесняются ветром обратно.

Предпроливный район является зоной моря, где временами образуется разный градиент гидрологических характеристик вследствие сглыка двух различных водных масс: Азовского моря и поступающих из Черного моря, частично уже преобразованных в проливе. В этом районе находят воды наибольшей солености для Азовского моря.

3. Центральный район моря занимает относительно стабильную наиболее глубокую зону моря. Ближе к берегам, вокруг центральной зоны, воды передвигаются против часовой стрелки, образуя круговое течение. В центральном районе моря летом в штилевую погоду возникает значительное расслоение водной толщи: сверху располагаются более прогретые, более легкие и несколько менее соленые воды, внизу лежат более тяжелые, более соленые и менее прогретые воды. Относительно более спокойное состояние этих вод способствует оседанию в этом районе наибольшего количества мельчайших илистых частиц. Донные отложения в этом районе изобилуют илистой фракцией. Ветровые течения здесь, повидимому, менее интенсивны из-за больших глубин района, хотя и обеспечивают в ветровой период хорошее перемешивание водной толщи при волнении.

4. Западный район моря, наиболее удаленный от основного речного стока. Местный речной сток почти не влияет опресняюще на воды этого района, хотя и способствует увеличению их кормности. Донские струи, почти полностью смешанные с морскими водами, доходят сюда только летом, тем не менее соленость этих вод несколько более низкая, чем в центральном и предпроливном районах.

5. Северо-западный район моря лежит на пути струй, вытекающих из Таганрогского залива и из Утлюкского залива, к водам которого, главным образом, в зимне-весенний период примешиваются высокосолёные воды, вытекающие из Сиваша через Тонкий пролив. Воды из Сиваша поступают лишь под влиянием сильных ветров западных румбов и главным образом в период пополнения Сиваша внешними водами с суши. Реки Большой и Малый Утлюк, пересыхающие летом, весной в значи-

тельной степени опресняют кутовую часть Утлюкского залива, так называемый Давыдовский залив. Ранней весной (апрель) наблюдается выход в море более пресных струй из Утлюкского залива. Эти внешние струи и таяние льда в заливе и в море в апреле и обуславливают местное частичное опреснение в северо-западном районе Азовского моря. Струи паводковых донских вод поступают в этот район из Таганрогского залива позднее — в конце весны. Поступление паводковых вод вызывает значительно более позднее сравнительно небольшое опреснение и обогащение вод северо-западного района.

6. Район моря, непосредственно примыкающий к горлу Таганрогского залива, больше всего подвержен влиянию донских речных вод. Колебания солености по сезонам года здесь особенно велики, достигая одного и более промилле. Водообмен этого района достигает большой интенсивности как под влиянием ветров, так и под влиянием стокового течения, идущего из Таганрогского залива и компенсирующего течения, направленные со стороны моря.

ОБЩАЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Соленость Азовского моря находится в прямой зависимости от речного стока и от водообмена с Черным морем. На колебания величины солености Азовского моря больше всего влияют изменения речного стока, так как другие факторы — водообмен между обоими водоемами, величина ежегодного испарения и количество атмосферных осадков, выпадающих на зеркало моря, относительно постоянны.

За последние 3—4 десятилетия средняя величина солености воды Азовского моря претерпевала изменения. По имеющимся данным, она постепенно увеличивалась. Если принять среднюю соленость воды Азовского моря в 1925 г. за исходную величину, то можно установить постепенное ее изменение. За 15-летний период, предшествовавший 1925 г., речной сток в итоге дал весьма небольшой избыток речной воды, равный $1,4 \text{ км}^3$. Вследствие этого и средняя соленость в начале этого периода (1925 г.) отличается от среднемноголетней солености, вычисленной на основании данных за период с 1913 по 1939 г. включительно менее чем на 1,5%. Поэтому эта величина может быть выбрана за исходную для характеристики хода естественного осолонения этих вод за последнюю четверть века.

После 1925 г. речной сток в течение нескольких лет был большим и средняя соленость моря снизилась к 1932—1934 гг. на 12%. Затем наступили маловодные годы и к 1937 г. средняя соленость вновь возросла на 24%. В итоге за 12-летний период (1925—1937 гг.) средняя соленость моря увеличилась против среднемноголетней на 9,5%. За этот период море недополучило из рек около 8% воды от среднемноголетней величины стока. К 1940 г. средняя ежегодная недостача в стоке рек против среднемноголетней достигала 10,3%. Детальные расчеты, учитывающие изменение речного стока в море, показывают, что упомянутый дефицит речной воды должен был вызвать вышеприведенную величину изменения солености морской воды. Данные наблюдений и вычисленные величины практически совпадают.

Последующий 10-летний период характеризуется почти сбалансированным итоговым речным стоком со средним ежегодным избытком речного стока всего лишь около 0,7% от среднемноголетней величины.

Вследствие этого через 10 лет (1950 г.) средняя соленость морской воды, несмотря на колебания ее величины за этот период, осталась практически такой же, как и в начале этого десятилетия (1940 г.).

Значительное уменьшение речного стока за последние два года вызвало увеличение солености морской воды, достигшее за этот короткий

срок 4%. Общее осолонение вызвало к 1952 г. увеличение среднего показателя на 17%.

Все эти материалы показывают, что изменение солености в Азовском море в значительной мере зависит от количества поступающих в него речных вод и от водообмена с Черным морем.

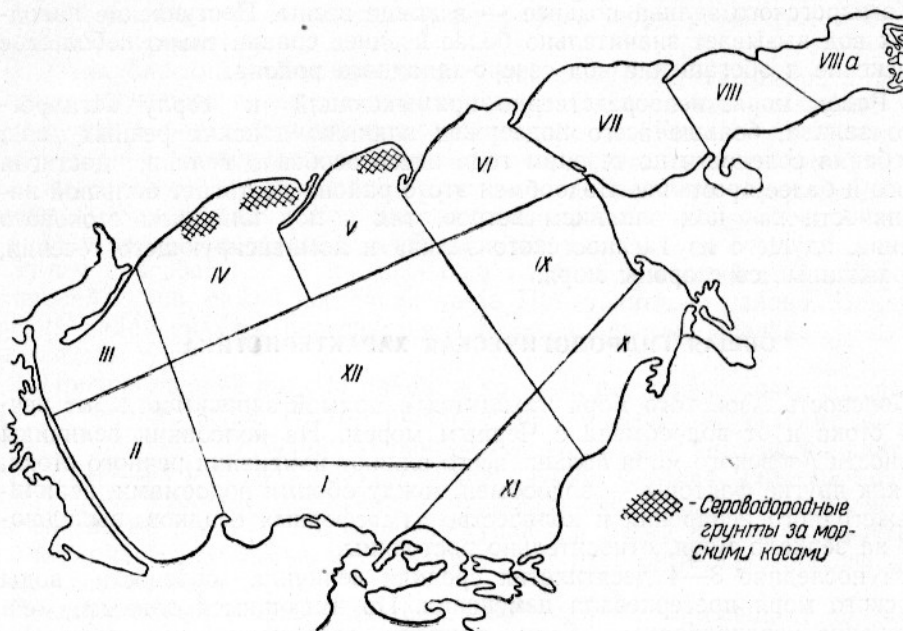


Рис. 1. Зоны моря.

По характеру и структуре водообмена мы выделяем шесть основных зон моря [стр. 14]. Но по распределению солености (схема Книповича) возможно еще более подробное деление акваторий моря (рис. 1).

Распределение средних величин солености (в ‰) по зонам моря и Таганрогского залива

(За 100% принята средняя соленость морской воды)

I. Предпроливная зона	106,7
XII. Центральная зона	103,7
II. Юго-западная зона	99,8
III. Западная присивашская зона, примыкающая к Утлюкскому заливу	101,5
IV. Северо-западная зона	100
V. Северная зона	99
VI. Зона, примыкающая к Таганрогскому заливу	94,8
IX. Северо-восточная зона	101
X. Прикубанско-ахтарская зона	93,8
XI. Прикубанско-темрюкская зона	100,2

Таганрогский залив:

VII. западная часть	76
VIII. средняя часть	53
VIIIa. восточная часть	19

Наиболее осолоненной зоной (106,7‰) является предпроливная зона, в которую прежде всего попадают более соленые воды через пролив из Черного моря. Эти воды под влиянием ветров южных румбов проникают и в центральную зону, поэтому по величине солености (103,7‰) это вторая зона. Вызываемые южными ветрами ветровые течения бывают весьма значительными, и струи наиболее соленых вод, проникающих через пролив, перемещаются дальше на северо-восток, за пределы центральной

зоны. Поэтому северо-восточная зона имеет несколько более высокую соленость, чем все море в целом. Проникновением более соленых вод из предпроливной зоны на восток объясняется и несколько повышенная соленость (100,2%) прикубанско-темрюкской зоны, несмотря на то, что в эту зону непосредственно впадает значительная часть кубанской речной воды. Географическое расположение Керченского пролива несколько затрудняет проникновение черноморских вод в юго-западную зону. Несмотря на весьма незначительный речной сток в эту зону моря, здесь поддерживается несколько пониженная величина средней солености (99,8%).

Совершенно иной источник более высокой средней солености (101,5%) имеет западная присивашская зона. Сточное течение сильно осолоненных вод из Сиваша, хотя и бывает лишь периодически, но все же сильно влияет на воды этой зоны, несмотря на проникновение в нее ранней весной талых внешних вод из Утлюкского залива.

Средняя соленость воды в Утлюкском заливе всегда несколько выше (до +5%) средней солености моря вследствие малого водообмена между заливом и морем. Кроме того, количество воды, испаряющейся с поверхности залива, значительно больше количества поступающих речных вод.

Зона, примыкающая к Таганрогскому заливу, более всего подвержена опресняющему (94,8%) воздействию донских речных струй, выходящих из залива. Эти струи, проникая дальше на запад, обуславливают несколько пониженную среднюю соленость северной зоны (99%), но дальше их влияние сильно ослабевает и северо-западная зона характеризуется среднемноголетней величиной солености, равной средней солености для всего моря (100%).

Воды Кубани сильнее всего опресняют среднюю прикубанско-ахтарскую зону (93,8%), куда проникновение более соленых вод из предпроливной зоны затруднено подводной отмелью — Железинской банкой. Полузамкнутый характер этой зоны делает ее наиболее опресненной частью всего моря.

Три части Таганрогского залива характеризуются различной степенью солености вод.

Если распределение средней солености по отдельным зонам моря вызвано геоморфологической структурой водообмена и водного баланса этих районов, то внутригодовое распределение величин солености в пределах этих зон, отображает сезонный характер водообмена и водного баланса этих частей моря.

Ниже приведены внутригодовые колебания средних величин солености в процентах в отдельных районах моря и залива (1950 г.)

Зона моря		Зона залива
I + 4,3 — 4,7	V + 2 — 1	VII + 11 — 7
XII + 1,3 — 1,7	VI + 5,2 — 4,8	VIII + 16 — 14
II + 0,2 — 0,8	IX + 1 — 2	VIIIa + 8 — 10
III + 0,5 — 2,0	X + 1,7 — 1,8	
IV ± 1	XI + 1,8 — 1,7	

Внутригодовые колебания солености особенно велики в предпроливной зоне ($\pm 4,5\%$) и в зоне, примыкающей к Таганрогскому заливу ($\pm 5\%$). Сравнительно большие колебания в этих зонах моря вызваны

значительными изменениями водообмена через пролив и колебаниями речного стока. Наименьшие колебания солености наблюдаются в почти бессточной юго-западной (II) зоне, но незначительный местный речной сток вызывает иногда уменьшение солености (от $+0,2\%$ до $-0,8\%$). В западной (II) зоне, где сток с суши также невелик, весенние воды все же вызывают относительно большее уменьшение солености (от $+0,5\%$ до $-2,0\%$), чем во II зоне. Данные по внутригодовым колебаниям солености дополнены данными по внутригодовому колебанию солености по сезонам для всего моря (табл. 1).

Таблица 1

Колебания средней солености в Азовском море по месяцам и по сезонам

Пересчет по В. С. Сомойленко

Месяц	Соленость в ‰	Соленость по сезонам в % от средней	Месяц	Соленость в ‰	Соленость по сезонам в % от средней
Март	+0,06	98	Сентябрь	$\pm 0,00$	Около 100
Апрель	+0,16		Октябрь	-0,20	101
Май	+0,30		Ноябрь	-0,26	104
Июнь	+0,40	96	Декабрь	-0,34	
Июль	+0,30		Январь	-0,44	
Август	+0,14		Февраль	-0,27	

Из табл. 1 видно, что осенью и особенно в сентябре соленость морской воды ближе всего к среднегодовой величине солености. К этому месяцу перемешивание речных вод, поступивших весной и летом с водами Азовского моря, заканчивается.

Таблица 2

Колебания солености по месяцам в Таганрогском заливе в 1950 г.

(отклонения $\pm$ в процентах от средней для залива)

Месяц	Восточная часть	Средняя часть	Западная часть
Апрель	123+23	99-1	92-8
Май	72-28	95-5	99-1
Июнь	79-21	95-5	96-4
Июль	85-15	103+3	100 $\pm$ 0
Август	80-20	107+7	96-4
Ноябрь	161+61	98-2	101+1

По этим данным можно проследить, как основная масса весенних речных вод проходит по восточной и средней части залива. В западной части залива колебания солености в основном обусловлены влиянием морских вод.

Внутригодовые колебания солености в Таганрогском заливе особенно велики (табл. 2). Они вызываются не только сезонными изменениями речного стока, но также резко выраженными сгонно-нагонными течениями. Сильные ветры, дующие вдоль длинной оси залива в ту или другую сторону, обуславливают различно направленное перемещение в нем водных масс разной солености. Колебания средних величин солености

(в %) в отдельных частях Таганрогского залива в 1950 г. следующие:

западная зона	от +4,61	до -2,74
средняя зона	от +1,78	до -1,66
восточная зона	от +1,13	до -1,66

Так как в восточной зоне речной донской сток играет в формировании водной массы главную роль, то и колебания солености в обе стороны выражены в этой части залива наиболее резко.

В западной части залива под влиянием моря соленость может увеличиваться.

В средней части залива колебания солености в обе стороны почти равнозначны, так как от моря и от реки эта часть залива находится на одинаковом расстоянии.

Температурный режим вод Азовского моря характеризуется в работе Н. И. Белокурова и Д. К. Старова [1] однородностью по всей площади моря в зимний и летний периоды.

Наибольшее различие температуры по отдельным районам моря (до 5—7°) наблюдается в период весеннего прогрева водной толщи и в период осеннего охлаждения морской воды. За три-четыре весенне-летних месяца (март — июнь) температура морской воды повышается более чем на 20°. В летние месяцы дневной прогрев почти уравнивается ночным охлаждением, и за три летних месяца средняя температура воды повышается всего на 1,5—2°. При этом наибольшие температуры бывают в июле (до 27°). С сентября начинается быстрое охлаждение воды, понижающее ее температуру за три осенних месяца в среднем на 18—20°. В период осеннего охлаждения температура воды в Таганрогском заливе у северного и восточного берегов моря под влиянием более охлажденных вод р. Дона и р. Кубани меняется быстрее, чем у южных и западных берегов. Но и здесь вследствие воздействия ветров и течений температура воды быстро и часто меняется. Ветры северо-восточной четверти способствуют быстрому распространению охлажденных вод из северо-восточной в юго-западную часть моря, а сильные ветры южного направления вызывают довольно глубокое проникновение относительно теплых вод черноморского происхождения на север и восток.

Зимой вследствие низких температур воздуха в прибрежных районах моря, а также и в открытой его части наблюдаются низкие температуры воды (около 0°).

Вертикальное распределение температуры воды, хотя во многих случаях и бывает почти равномерное от поверхности до дна, но весной и летом в придонном слое температура воды может быть на 3—5° ниже, чем в поверхностном. В Таганрогском заливе в 1950 г. градиент между температурой верхнего и нижнего слоя изменялся по месяцам незначительно.

Иной ход развития градиента температуры воды наблюдается в других районах моря, где величина градиента бывает во много раз больше и зависит в основном от прогрева воды с поверхности (см. табл. 3).

Таблица 3

Разница температуры верхнего и нижнего слоя воды

	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август
Таганрогский залив, 1950 г.	0,10	0,19	0,34	0,55	Около 0,0
Море, 1924—1926 гг.	—	5,3	3,2	3,1	2,8

ГАЗОВЫЙ РЕЖИМ МОРЯ И ЗАЛИВОВ

При рассмотрении газового режима Азовского моря, водоема большого рыбохозяйственного значения, прежде всего следует различать два основных случая газового состояния водной толщи.

1. Газовое состояние водной толщи, благоприятное для жизнедеятельности промысловых рыб, населяющих море, их молоди и кормовых организмов.

Оно характеризуется интенсивной аэрацией, высоким процентом насыщения кислородом (не менее 60% летом) и отсутствием накопления газообразных продуктов распада органического вещества (углекислоты, сероводорода, метана и т. п.).

2. Газовое состояние водной толщи, неблагоприятное для промысловых рыб и других водных организмов, которое угнетающе действует на жизнедеятельность донных организмов, а также рыб. В этом случае содержание кислорода обычно менее 3 см³ в 1 л морской воды и в застойных зонах водной толщи у дна накапливается избыточное количество углекислоты, а иногда даже сероводорода, метана и других газов.

В Азовском море имеются районы, где постоянно в течение всего года газовый режим водной толщи благоприятен для жизнедеятельности ихтиофауны. В других районах моря газовый режим меняется; то он благоприятен, то создает угнетающие для водных организмов условия существования, прежде всего ухудшая условия дыхания этих организмов (табл. 4).

Таблица 4

Содержание кислорода (в мл O₂/л) в воде Азовского моря по месяцам

Горизонт	Март	Апрель— май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Год наблю- дений
Поверх- ностный	9,1—10,4	5,4—8,6	5,2—6,7	4,9—6,9	4,4—9,8	5,0—8,4	5,9—7,5	1936*
Придон- ный . . .	4,1—9,5	1,4—6,7	1,1—6,2	0—5,3	0—5,5	1,9—5,8	4,5—6,2	
Вся тол- ща воды.	—	—	—	0,6—9,8	0—6,4	5,2—7,5	6,1—8,0	1937*

* По наблюдениям А. П. Жукова.

По данным ВНИРО в 1950 г. содержание кислорода в мл/л в воде Азовского моря по зонам и слоям (поверхность—дно) было следующим:

II	6,66—4,36	IX	5,85—1,30
III	6,73—3,83	X	5,95—0,75
IV	7,04—4,35	XI	5,90—0,04
V	6,07—4,16	XII	6,73—0,40
VI	4,45 (среднее)	I	7,29—2,15

В Таганрогском заливе и во всей прибрежной мелководной полосе моря, где в донных отложениях преобладает песок, круглый год имеется благоприятный для жизнедеятельности водных организмов газовый режим. Насыщение воды кислородом достигает высокого процента (более 90 и 100).

Однако в западном участке залива существуют предпосылки для образования двух слоев водной толщи, здесь встречаются струи речных вод и морская вода, существует вращательное замедленное перемещение водных масс, но скорость аэрации нижних слоев все же превышает скорость потребления кислорода у дна. Расслоение водной толщи в теплое время года здесь наблюдается редко и, хотя потребление кислорода илистыми грунтами достигает больших величин, скорости ветровых, сгонно-нагонных и стоковых течений достаточно велики, чтобы обеспечить хорошую вентиляцию нижних слоев воды в заливе.

В 1950 г. в июне наблюдалось в придонном слое несколько случаев, когда насыщение кислородом в заливе доходило до 50%; в остальных местах в теплое время года насыщение воды кислородом было выше; в большинстве случаев оно было более 90 и 100%.

Зимой в Азовском море не наблюдается резкого ухудшения газового режима, так как термического расслоения водной толщи нет, нового органического вещества почти не образуется и процесс распада органического вещества при температуре воды, близкой к нулю, идет крайне медленно.

Весной, особенно в апреле, когда происходит сильный прогрев водной толщи (от 2—3 до 9—10°), наблюдается пересыщение морской воды кислородом. Оно обуславливается резким уменьшением растворимости кислорода в воде вследствие быстрого прогрева водной толщи. При этом скорость выделения из воды кислорода, освобождающегося за счет пересыщения, меньше скорости изменения его растворимости (табл. 5).

Таблица 5

Пересыщение воды Азовского моря кислородом

(Число случаев в среднем для всей водной толщи в процентах от общего числа наблюдений)

Месяц \ Год	1937	1938	1939	1940	1950	1951	1952
Апрель	—	43	—	86	—	—	—
Май	65	—	10	—	—	—	—
Июнь	22	14	—	—	—	—	—
Июль	30	34	30	23	35	52	—
Август	30	35	—	—	—	—	20
Сентябрь	30	13	—	—	—	—	72
Ноябрь	2	—	16	37	—	—	—

Таблица 6

Содержание кислорода у дна и на поверхности в предпроливном районе

	Горизонт	Температура воды в°	Соленость в ‰	Содержание кисло- рода в м.л./л
1925* г., август (глубина 10,5 м)	Поверхностный	25,3	5,17	7,02
	Придонный	23,0	9,08	0,50
1925* г., август (глубина 9,75 м)	Поверхностный	24,6	5,97	7,66
	Придонный	23,1	8,44	0,00 (полный де- фицит)
1950 г., июль (глубина 12 м)	Поверхностный	26,4	6,57	5,96
	Придонный	23,4	7,05	0,99
То же	Поверхностный	25,0	5,38	5,90
	Придонный	24,1	5,84	1,30

* Наблюдения Н. М. Книповича.

При расслоении водной толщи, которое проявляется особенно сильно летом, плотностный градиент между верхними и нижними слоями достигает наибольшей величины, так что даже двух-трехбалльный ветер не сразу может нарушить создавшееся разделение водных слоев. Тогда прекращается или затрудняется вентиляция нижнего слоя моря и возникает угнетенный газовый режим у дна (табл. 6).

Особые районы, где возникает дефицит кислорода у дна, расположены в северо-западной части моря между косами Бирючей и Обиточной. Донная растительность, отмирая в бухтах, отграниченных морскими косами, образует богатые сернистыми соединениями грунта (см. рис. 1). В этих местах наблюдается у дна недостаток кислорода.

В районе Бердянской косы, где происходит стык донской струи и морских вод, создается большой градиент плотностей верхнего и нижнего водных слоев. Вследствие этого аэрация нижнего слоя резко уменьшается и создается дефицит кислорода у дна (табл. 7).

Таблица 7

Содержание кислорода в районе Бердянской косы 7 июля 1924 г.

Горизонт	Температура воды	Cl %	O ₂ мл/л
Поверхностный	26,3	4,65	5,98
Придонный (глубина 8 м)	22,8	5,70	0,83

Несколько южнее косы, где глубина достигает 11—12 м, дефицит кислорода, обнаруженный летом в 1950 и 1951 гг., образовался вследствие наслоения двух водных масс с различной плотностью (табл. 8).

Таблица 8

Содержание кислорода южнее Бердянской косы (глубина 12 м)

Год	Горизонт	Температура воды	O ₂ мл/л
1950	Поверхностный	21,1	3,90
	Придонный	22,9	2,70
1951 август	Поверхностный	24,8	6,6
	Придонный	23,5	1,2

В августе 1951 г. дефицит кислорода наблюдался при температуре поверхностного слоя 24,8° и придонного (глубина 12 м) 23,5°.

В Азовском море неблагоприятный кислородный режим особенно резко проявляется в теплое время года в центральной наиболее глубокой части моря и захватывает район Темрюкского залива, там, где глубины также относительно велики. В центральном районе моря, в том числе и в районе Темрюкского залива, с глубинами от 10 до 13 м преобладают илистые донные отложения. Илистые грунты центральной части моря богаты разлагающимся органическим веществом, содержат много сульфидов и других соединений — продуктов восстановительных процессов.

Воды, заполняющие центральную часть моря, находятся в центре кругового течения, идущего в Азовском море по периферии. В южную зону центральной части и в район Темрюкского залива проникают через Керченский пролив более тяжелые воды Черного моря. Эти гидрологические условия и летний прогрев воды, начинающийся с верхних слоев,

приводят к значительному расслоению водной толщи. Ежегодно в летний период явление частичного и полного дефицита кислорода распространяется на весьма обширную площадь центральной части моря. Степень интенсивности наступающего дефицита кислорода в разные годы неодинакова как по размерам, так и по районам распространения этого явления в море.

Наибольший дефицит кислорода возникает в летние месяцы, хотя и весной в отдельных местах наблюдается у дна значительное снижение содержания кислорода. В июле 1950 г. малое содержание кислорода у дна было в XI зоне, в части I, XII, IX и X зон, т. е. во всей юго-восточной и средневосточной части моря, исключая прибрежный восточный район—Ахтарский залив.

БИОГЕННЫЙ РЕЧНОЙ СТОК

Основными составляющими частями баланса биогенных элементов в Азовском море (как и во всяком другом морском водоеме) являются:

1) речной сток растворенных и взвешенных соединений биогенных элементов;

2) обмен биогенными элементами с примыкающими морскими водоемами (в данном случае с Черным морем);

3) обмен биогенными элементами между морской водой и воздухом атмосферы путем выпадения атмосферных осадков и разбрызгивания с поверхности моря аэрозолей.

В этом балансе биогенных элементов Азовского моря две составляющих части являются наиболее колеблющимися величинами. Это речной сток и результирующий эффект биогенного обмена Азовского моря с Черным.

В отличие от внешнего биогенного баланса, внутренний круговорот биогенных элементов отображает динамику этих элементов в самом Азовском море. Внутренний круговорот характеризует интенсивность ассимиляции биогенных элементов растительными организмами (фитопланктоном), интенсивность формирования химических и биологических взвесей из растворенных соединений и живых организмов, интенсивность их осаждения, интенсивность минерализации органического вещества и скорость растворения взвесей и донных отложений, т. е. интенсивность перехода биогенных элементов из донных осадков обратно в морскую воду.

Имевшиеся к настоящему времени гидрохимические данные о биогенном стоке рек Дона и Кубани наиболее полно изложены в работах В. Я. Еременко [6, 7]. Однако им не был учтен азот детрита, которым богаты речные воды, что несколько снижает суммарный сток биогенных элементов. Работы сотрудников ВНИРО и АзчерНИРО в 1950—1951 гг. в низовьях Дона и Кубани дали новый материал о биогенном стоке в море, что позволило рассчитать количественный сброс азота детрита реками. При расчетах пользовались коэффициентом соотношения азота и фосфора органического вещества, взвешенного в речной воде. Было учтено также оседание в дельте Дона и в лиманах Кубани тяжелой фракции взвешенных частиц, были приняты во внимание процессы аммонификации и денитрификации, весьма интенсивно протекающие в дельтовых и лиманных участках рек.

Установлено, что в период паводка, когда реки сбрасывают не менее, а иногда и более половины всей массы речной воды, протекающей за год, происходит и основной биогенный сброс в море.

В дополнение к указанным работам были проведены исследования, позволившие дать качественную характеристику органического вещества в речной воде и оценить роль взвешенных веществ в сбросе биогенных элементов в море. Все это послужило материалом для вычисления средней величины сброса реками биогенных элементов в море (табл. 9).

Биогенный сток рек

Таблица 9

Биогенный элемент	Форма нахождения в речной воде	Река Дон				Река Кубань				
		средние концентрации биогенных элементов выше дельты в мг/м ³	количество биогенных элементов, влекомых* речной водой выше дельты, в т в год	средние концентрации биогенных элементов в низовьях дельты в мг/м ³	среднегодовой сброс биогенных элементов в море в т	средние концентрации биогенных элементов в мг/м ³	биогенный сток при водном стоке 11,65 км ³ в тоннах (по В. Я. Еременко)	количество биогенных элементов, влекомых речной водой выше дельты, в т в год	средние концентрации биогенных элементов в устьях реки и в речных лиманах в мг/м ³	сброс биогенных элементов в море в т
Фосфор	Фосфаты растворенные	70,6	2015	71	2015	27	314	308	19—25	308
	Растворенные органические соединения . . .	30	852	(58)	1647	95	1110	1085	(40)	1085
	Взвешенные минеральные соединения . . .	138,8	3940	31	880	438	5106	4993	(37)	2588
	Взвешенные органические соединения . . .	34	965	(58)	1646	265	3092	3025	(40)	3025
Всего . . .			7772	—	6188	—	9624	9420	—	7006
Азот	Нитратов	446,6	12700	(80)	2275	366	4267	4170	75	849
	Нитритов . . .	17,2	487	5,2	148	8	90	88	7	88
	Аммонийных солей	74,4	2140	139	3805	74	867	849	190—350	4170
	Всего минерального азота . .	—	15327	—	6228	—	5224	5107	—	5107
	Растворенные органические соединения . . .	716,4	20323	716	20323	730	8512	8320	(714)	8320
	Взвешенные органические соединения . .	1430	40646	735	209333	1460	—	16640	(1460)	16640
Всего . . .			75969		47484		13736	30067		30067

* Растворенные и взвешенные.

Органическое вещество взвесей речной воды Дона отличается от растворенного в этой воде органического вещества: первое более стойко к химическому окислению, чем второе. За период апрель—август 1941 г.¹ перманганатная окисляемость речной воды, освобожденной от взвесей путем фильтрации, в нейтральной среде была равна в среднем 53% перманганатной окисляемости этой же пробы воды в кислой среде².

В то же время соотношение перманганатной окисляемости органического вещества, взвешенного в речной воде Дона в нейтральной и кислой средах, было равно в среднем 18% для суммы всех взвесей и 17% для мельчайшей ($< \mu$) фракции этих взвесей (табл. 10).

Таблица 10

Окисляемость отдельных фракций речной воды Дона

Перманганатная окисляемость	Речная вода, освобожденная от взвесей	Взвешенные вещества	
		сумма всех взвесей	мельчайшая фракция взвесей
В нейтральной среде в мг O_2 /л	3,52	0,61	0,29
В кислой среде в мг O_2 /л	6,59	3,39	1,68
Соотношение окисляемости в нейтральной среде в процентах окисляемости в кислой среде . .	53	18	17

Мельчайшая фракция взвеси ($< \mu$) имеет половину органического вещества (48—49%), содержащегося во всей взвеси данной пробы речной воды. В то же время известно, что мельчайшая фракция взвеси по весу составляет всего лишь около 10% от суммы всех взвешенных частиц. Отсюда можно заключить, что относительное содержание органического вещества в мельчайшей фракции речных взвесей в 5 раз больше, чем концентрация его во всех взвешенных частицах, взятых вместе. Из приведенных данных следует также, что концентрация органического вещества в мельчайшей фракции почти в 9 раз больше, чем концентрация его в крупной и средней фракциях речной взвеси, взятых вместе.

Стабильность органического вещества взвесей по отношению к перманганатному окислению во всех фракциях взвесей одинакова. Но стабильность органического растворенного вещества в 3 раза (53 и 18%) меньше, чем соответствующая стабильность органического вещества взвешенных частиц.

Более легкая химическая окисляемость растворенного органического вещества по сравнению с окисляемостью органического вещества взвесей обуславливается гомогенностью условий протекания процесса в первом случае и тем, что более лабильное в химическом отношении органическое вещество речной воды перешло в растворенное состояние. Более стойкое химическому окислению органическое вещество осталось в твердом состоянии и входит в состав речных взвесей.

Органически связанный фосфор в основном составляет мелкую фракцию взвесей. Азот во взвешенном состоянии также находится преимущественно в виде мельчайшей взвеси в органически связанном виде. Для

¹ Е. Г. Виноградова.

² Как известно, окисление органического вещества перманганатом в кислой среде проходит значительно полнее, чем в нейтральной среде.

полноты оценки стока биогенных элементов следует отметить, что мелкие реки, впадающие в заливы Азовского моря, вносят относительно немного биогенных элементов. Однако местное значение этого стока для увеличения продукции растительных организмов проявляется вполне определенно. Река Миус через Миусский лиман у северного берега Таганрогского залива влияет на повышенную интенсивность фотосинтетической деятельности фитопланктона в отдельные периоды вегетативного сезона. В кут Утлюкского залива — в Давыдовский лиман весной вносят свои воды реки Большой и Малый Утлюк, увеличивая химическую «кормность» этих водоемов. Летом эти реки безводны.

БИОГЕННЫЙ ОБМЕН ЧЕРЕЗ ПРОЛИВ

Биогенный обмен Азовского моря с Черным через пролив всецело зависит от характера и интенсивности обмена водами между этими морями. Однако ассимиляция биогенных элементов, регенерация их из органического вещества и переход биогенных элементов в донные отложения — все эти процессы, происходящие в водах предпроливного пространства Азовского моря и самого пролива, также влияют на конечный результат биогенного обмена с Черным морем. Воды Азовского моря, проникая в пролив, не дойдя до Черного моря, могут быть вытеснены ветром обратно в предпроливное пространство Азовского моря. В результате такого водообмена воды Азовского моря в самых различных соотношениях могут смешиваться с черноморскими водами и по нескольку раз проходить через пролив в ту или другую сторону.

Так как водообмен через пролив является одной из составных частей водного баланса Азовского моря, для определения баланса солей и биогенных элементов введена величина «условного водообмена», удовлетворяющая водно-солевому уравнению водоема. Величина условного водообмена Азовского моря через Керченский пролив в обе стороны равна в среднем 107 км^3 . Величина же истинного двустороннего водообмена в $1\frac{1}{2}$ —2 раза больше и составляет от 151 до 217 км^3 [9]. При этом сток из Азовского моря превышает приток из него через пролив в среднем на 25 км^3 . Работы по определению биогенного обмена через пролив начаты лишь в последние годы Азовской экспедицией. Материалы собраны большей частью В. Г. Дацко и другими сотрудниками АзчерНИРО, а также участниками Азовской экспедиции ВНИРО.

Гидрохимического материала пока еще собрано мало, однако можно уже сейчас дать приблизительную оценку этому процессу, пользуясь величиной условного водообмена через пролив (табл. 11).

Учитывая среднее количество содержащихся в донных отложениях Азовского моря фосфора и азота в различных минеральных и, главным образом, органических соединениях и исходя из всего баланса биогенных элементов Азовского моря, следует сделать вывод, что величина выноса азота из Азовского моря через пролив, вычисленная на основании величины условного водообмена, несколько меньше действительной величины. Это говорит о том, что происходят дополнительные процессы потребления азота и фосфора в предпроливном районе Черного моря во время поступления азовской воды при истинном водообмене через пролив.

Азовская вода, выходящая в предпроливный район Черного моря, обедняется азотом и фосфором не только за счет разбавления черноморской водой, но и возможно в процессе фотосинтетической ассимиляции планктоном и дальнейшего его выедания. Обилие планктона в предпроливном пространстве косвенно подтверждает сказанное.

В то же время приведенные в табл. 12 величины ежегодного перехода биогенных элементов в донные отложения всего лишь на 4—5%

Таблица 11

Обмен биогенных элементов через Керченский пролив

Биогенные элементы	Азовская вода $мг/м^3$	Вынос из Азовского моря в т	Черномор- ская вода в $мг/м^3$	Принос из Черного моря в т	Убыль из Азовского моря в т
Фосфаты	8	530	7	285	—245
Фосфор органических соединений	37	2 450	20	820	—1 630
Всего фосфора	45	2 980	27	1 105	—1 875
Азот минеральный	95	6 200	86	3 500	— 2 700
Азот органических соединений . .	540	35 800	229	9 400	—26 400
Всего азота	635	42 000	315	12 900	—29 100
Органическое вещество	11 000		6 000		

Примечание. В. Г. Дацко, пользуясь другими данными по водообмену дает иные цифры биогенного обмена через пролив.

выше количества среднего содержания этих элементов в донных осадках Азовского моря. Это подтверждает сделанное нами предположение, что результат истинного биогенного обмена через пролив больше вычисленного биогенного обмена и больше выноса биогенных элементов из Азовского моря.

Таблица 12

Баланс биогенных элементов в Азовском море в т

Биогенный элемент	Принос реками	Приход с атмосферны- ми осадками	Вынос в Черное море	Изъятие ¹ промыслом	Еже одно переходит в донные отложения и организмы
Фосфор	13 200	—	1 875	1000	10 325
Азот	77 550	8450	29 100	6000	50 900

¹ По расчетам В. Г. Дацко.

Таблица 13

Распределение основных биогенных элементов (в $мг/м^3$) в виде минеральных соединений в отдельных частях Таганрогского залива (май—ноябрь 1950 г.)

Биогенные элементы	Восточная часть	Средняя часть	Западная часть	В среднем
Фосфаты Р	55	18	14	29
Кремний Si	1870	1080	900	1280
Нитраты N	33	26	33	31
Аммонийные соединения N . .	125	93	70	96

Распределение минерального фосфора по годам и сезонам

Район	Горизонт	Месяц и год	Апрель					Июль					Август		
			1937 IV—V	1938	1939 V	1951	1952	1937	1938	1950	1951	1952	1937	1938	1951
Южный предпроливный	Поверхностный Придонный		0 8	15 15	6 6	1 1	7 9	8 (160)	6 6	12 18	9 11	4 6	8 (160)	21 22	6 12
Северный	Поверхностный Придонный		0 15	9 10	7 8	0	15 16	10 (67)		13 15	6 7	4 5	10 (67)	— —	7 10
Восточный прикубанский	Поверхностный Придонный		0 6	8 7	4 5	2 3	8 19	6 (76)	8 10	7 10	7 9	4 4	6 (76)	20 17	7 13
Западный	Поверхностный Придонный		1 12	6 6	4 6	0	16 17	5 (76)	9 9	12 13	7 9	3 5	5 (76)	27 23	4 7
Центральный	Поверхностный Придонный		0 8	10 8	5 6	0	9 9	12 (120)	9 11	10 10	7 8	3 4	12 (120)	17 28	7 17
Таганрогский залив	Поверхностный Придонный			21 27	7 8	11 11	14 14	40 (126)	34 36	33 32	28 30	29 31	40 (126)	18 27	14 15

Примечание. Цифры в скобках — данные А. П. Жукова, полученные им при помощи донного батометра.

Таблица 15

Распределение кремния по годам и сезонам

Район	Горизонт	Месяц и год	Апрель					Июль						Август		
			1937 IV—V	1938	1939 V	1951	1952	1937	1938	1939	1950	1951	1952	1937	1938	1951
Южный предпроливный	Поверхностный		50	175	305	540	280	150	833	942	610	890	470	300	461	1540
	Придонный		100	175	440	490	290	300	1000	844	590	830	570	350	460	1350
Северный	Поверхностный		80	228	220	600	330	200	—	720	550	1120	610	350		980
	Придонный		200	228	179	540	340	300	—	710	650	1260	660	350		1000
Восточный прикубан- ский	Поверхностный		50	329	175	410	330	150	1130	730	760	1622	560	250	1030	1800
	Придонный		100	250	140	426	400	300	1130	840	1030	1064	620	350	1064	1900
Западный	Поверхностный		50	187	200	770	270	150	1242	747	320	980	380	300	1320	1200
	Придонный		100	244	220	800	324	280	1163	760	530	900	440	330	1350	1300
Центральный	Поверхностный		50	236	166	690	240	180	1332	880	540	810	440	250	1300	1240
	Придонный		100	218	161	730	240	320	1350	890	480	950	480	350	1250	1300
Таганрогский залив	Поверхностный		440	880	410	850	750	470	1250	926	1250	1450	1300	440	1500	1450
	Придонный		440	880	430	880	750	450	1280	630	1250	1470	1200	400	1400	1550

Таблица 16

Распределение нитратов, нитритов и аммонийных солей (в мг/м^3) в Азовском море по годам и сезонам

Район	Горизонт	1937			1938			1939			1950			1951			1952		
		NO ₃	NO ₂	NH ₄	NO ₃	NO ₂	NH ₄	NO ₃	NO ₂	NH ₄	NO ₃	NO ₂	NH ₄	NO ₃	NO ₂	NH ₄	NO ₃	NO ₂	NH ₄
		Апрель																	
Южный пред-проливный	Поверхностный	0	0	86	—	—	53	0	0	77	—	—	—	22	3	90	0	0	46
	Придонный	5	1,3	610			48			159				21	3	140			57
Северный	Поверхностный	0	0	56	—	—	93	4	0	73	—	—	—	33	4	220	0	0	51
	Придонный	6	1,9	287			46	0	0	74				32	4	160			58
Восточный прикубанский	Поверхностный	0	0	49	—	10	114	1	0	58	—	—	—	16	4	170	0	0	63
	Придонный	5	0,2	148		5	215	0	0	82				8	4	120			48
Западный	Поверхностный	0	0	42	—	—	119	0	0	34	—	—	—	36	4	350	0	0	47
	Придонный	5	1,5	83			147			29				44	4	150			72
Центральный	Поверхностный	0	0	48	—	—	61	0	0	51	—	—	—	19	2	120	0	0	51
	Придонный	5	1,7	115			48			74				39	3	120			47
Таганрогский залив	Поверхностный	127	9,7	53	19	15	65	0	0	50	—	—	—	23	7	150	0	0	74
	Придонный	127	13	285			85	1	1	48				22	5	140			77
		Июль																	
Южный пред-проливный	Поверхностный	4	0,3	57	0	0	45	—	—	—	—	3,7	48	0	0	460	0	0	148
	Придонный	17	1,8	128			77					12	220			480			190

Район	Горизонт	1937			1938			1939			1950			1951			1952		
		NO ₃	NO ₂	NH ₄	NO ₃	NO ₂	NH ₄	NO ₃	NO ₂	NH ₄	NO ₃	NO ₂	NH ₄	NO ₃	NO ₂	NH ₄	NO ₃	NO ₂	NH ₄
Северный	Поверхностный	5	0,6	39	—	—	—	—	—	—	—	3	118	0	0	370	0	0	380
	Придонный	17	1,5	106	—	—	—	—	—	—	—	8	126	0	0	360	0	0	310
Восточный прикубанский	Поверхностный	9	0,4	56	65	—	60	—	—	—	6	0	82	0	0	340	0	0	180
	Придонный	13	2,7	83	65	1,0	47	—	—	—	18	0	264	0	0	310	0	0	160
Западный	Поверхностный	5	0,2	52	—	—	49	—	—	—	—	—	—	0	0	250	0	0	250
	Придонный	16	1,2	99	—	—	65	—	—	—	—	—	—	0	0	250	0	0	203
Центральный	Поверхностный	5	0,4	55	12	0	69	—	—	—	1	0	67	0	0	290	0	0	190
	Придонный	16	1,2	325	12	0	58	—	—	—	8	0	197	0	0	380	0	0	240
Таганрогский залив	Поверхностный	32	0,1	26	50	0	45	—	—	—	—	—	—	0	0	480	—	—	260
	Придонный	26	2,5	90	50	—	—	—	—	—	—	—	—	0	0	492	—	—	260
А в г у с т																			
Южный пред- проливный	Поверхностный	0	0,3	73	0	0	45	—	—	—	—	—	—	0	0	270	—	—	—
	Придонный	—	1,9	318	—	—	77	—	—	—	—	—	—	—	—	270	—	—	—
Северный	Поверхностный	0	0	39	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	0	400	—	—	—
	Придонный	—	2,8	130	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	370	—	—	—
Восточный прикубанский	Поверхностный	0	0,4	102	65	—	60	—	—	—	—	—	—	0	0	610	—	—	—
	Придонный	—	2,8	194	65	1	47	—	—	—	—	—	—	—	—	660	—	—	—
Западный	Поверхностный	0	0,5	58	—	—	49	—	—	—	—	—	—	0	0	100	—	—	—
	Придонный	—	2,7	220	—	—	65	—	—	—	—	—	—	—	—	90	—	—	—
Центральный	Поверхностный	0	1,2	88	12	0	69	—	—	—	—	—	—	0	0	440	—	—	—
	Придонный	—	4,1	327	12	—	58	—	—	—	—	—	—	—	—	410	—	—	—
Таганрогский залив	Поверхностный	31	1,1	30	50	—	45	—	—	—	—	—	—	12	1	440	—	—	—
	Придонный	35	3,2	83	50	—	—	—	—	—	—	—	—	14	5	360	—	—	—

Некоторое влияние на химизм биогенного обмена через пролив оказывают воды, заполняющие Таманский залив и поступающие обратно в Керченский пролив. Растительность в заливе, особенно в его восточной части, интенсивно ассимилирует биогенные вещества, заносимые в залив водой. В результате дальнейшего распада растительности в заливе образуется большое количество детрита аммонийных солей и продуктов органического происхождения, которые несколько меняют гидрохимический облик этих вод. Интенсивное испарение с поверхности мелководного залива повышает концентрацию солей в воде залива, которая время от времени поступает в пролив.

РЕЖИМ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В МОРЕ

В результате сочетания отдельных составляющих внешнего баланса и внутреннего круговорота биогенных элементов в Азовском море и заливе было определено содержание растворенных биогенных элементов в морской воде (табл. 13—17).

В воде Азовского моря азота минеральных солей, фосфатов и силикатов почти круглый год содержится сравнительно много.

В летние месяцы концентрация азота нитратов падает до нуля, и иногда, в период сильного цветения фитопланктона, содержание фосфатов становится исчезающе малым.

Все это указывает на то, что в Азовском море идет весьма интенсивная регенерация минеральных солей биогенных элементов. Несмотря на обилие фитопланктона и большую интенсивность его жизнедеятельности, минеральные формы биогенных элементов содержатся в морской воде в значительных количествах.

Таблица 17

Изменение концентраций биогенных элементов в мг/м^3 в Азовском море (без Таганрогского залива) по месяцам 1937 г. (средние величины)

Месяцы Биоген- ные элементы	Март	Апрель- май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
P	32	5	11,6	53	16	21	57	(103)
Si	240	85	188	233	318	(1250)	(1335)	(2190)
N—NH ₄ . . .	198	159	74	100	155	86	61	54
N—NO ₂ . . .	0,3	0,5	2,7	1,0	1,7	0,1	3,3	6,6
N—NO ₃ . . .	9	0,2	10	0	0	—	116	206

Примечание. В скобках — данные, полученные донным батометром.

ВЫВОДЫ

1. Большое рыбохозяйственное значение Азовского моря определяется высокой кормностью этого водоема.

2. Высокая кормность моря обуславливается относительно большим объемом речного стока, интенсивным и продолжительным прогревом морской воды. Реки Дон и Кубань вносят в море воды с большим количеством биогенных элементов. Биогенный речной сток особенно интен-

сивно обогащает Таганрогский залив и прикубанский восточный район. Однако большие колебания солености в удлиненном Таганрогском заливе под влиянием сгонно-нагонных ветров несколько ухудшают условия для развития в нем водных организмов.

3. Особенности гидрологического режима и морфометрии моря обуславливают образование в летний период дефицита кислорода в нижних слоях водной толщи. Ежегодное образование дефицита кислорода в придонных слоях и возникновение неблагоприятного для организмов газового режима в море распространяется в середине лета на площадь центральной части моря. В разные годы зона распространения дефицита кислорода неодинакова.

4. Дефицит кислорода в придонном слое снижает рН, усиливает анаэробные процессы в грунте, определяет относительно высокую подвижность биогенных элементов донных отложений, содействует интенсивной отдаче их минеральных форм из грунта в водную толщу и повышает возможность и степень биологической ассимиляции приносимых реками соединений биогенных элементов.

5. Большое количество органического вещества после отмирания организмов отлагается в донных осадках моря, и дальнейший распад его происходит в значительной мере в анаэробных условиях.

Почти во всей центральной части моря, кроме сравнительно узкой прибрежной полосы, донные отложения изобилуют органическим веществом, и под влиянием дефицита кислорода морские грунты этой области содержат большое количество сульфидов и имеют восстановительный характер.

6. Прекращение аэрации придонного слоя в Азовском море наступает в летнее время при расслоении водной толщи на два слоя. Верхний слой, более прогретый и менее соленый, поэтому и более легкий; нижний слой, смешанный с черноморскими водами, проникающими через пролив, более соленый и менее прогретый, в результате более тяжелый.

7. За последние десятилетия (с 1925 г.) общая минерализация (соленость) воды Азовского моря, чередуясь с периодами опреснения, в конечном итоге медленно возрастает, вследствие чего предпосылки для летнего расслоения водной толщи в море уменьшаются. В результате ухудшаются условия для интенсивного перехода биогенных элементов из донных отложений в морскую воду.

8. Уменьшение речного биогенного стока при зарегулировании реки Дона, обмеление и зарастание лиманов, некоторое осолонение моря вызывают ряд явлений, ухудшающих обеспеченность морских вод биогенными элементами, и тем самым уменьшают химическую основу кормности моря.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Белокуров Н. И. и Старов Д. К., Гидрометеорологическая характеристика Азовского моря, Гидрометиздат, 1947.
2. Виноградова Е. Г., Гидрохимический режим Азовского моря в 1951—1953 гг. (напечатано в этом сборнике).
3. Гололобов Я. К., К познанию возраста современной стадии Черного моря, ДАН СССР, т. LXVI, 1949, № 3.
4. Горшкова Т. И., Химия грунтов Азовского моря (напечатано в этом сборнике).
5. Дацко В. Г., О причинах заморов рыб в Азовском море, Труды АзчерНИРО, вып. 15, Крымиздат, 1951.
6. Еременко В. Я., Вещества, сбрасываемые водой р. Дон в Азовское море, Гидрохимические материалы, т. XV, изд. АН СССР, 1948.

7. Еременко В. Я., Зенин А. А. и Коновалов Г. С., Сток растворенных веществ р. Кубани и ее гидрохимический режим, Гидрохимические материалы, т. XXI, изд. АН СССР, 1953.

8. Книпович Н. М., Гидрологические исследования в Азовском море, Труды Азово-Черноморской экспедиции, вып. 5, 1932.

9. Самойленко В. С., Ближайшее будущее Азовского моря, Труды ГОИН, вып. 3 (15), Изд. АН СССР, 1947.

10. Федосов М. В., Химическая основа кормности Азовского моря и прогноз ее изменения в связи с гидростроительством на реках (напечатано в этом сборнике).

11. Федосов М. В., Интенсивность осадкообразования в Азовском море, ДАН СССР, т. LXXXIV, 1952, № 3.

12. Федосов М. В., Причины возникновения дефицита кислорода в Азовском море (напечатано в этом сборнике).

13. Федосов М. В., Гидростроительство и рыбное хозяйство Азово-Черноморья, «Природа», 1952, № 1.

14. Современные аналогии нефтеносных фракций, Гостоптехиздат, 1950.

15. Большая Советская энциклопедия, 2-е изд., т. 1, Азовское море.
