

ЭКОЛОГИЯ**В.В. Дроздов****ОСОБЕННОСТИ МНОГОЛЕТНЕЙ ДИНАМИКИ ЭКОСИСТЕМЫ АЗОВСКОГО МОРЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ****V.V. Drozdov****FEATURES OF LONG-TERM DYNAMICS OF AN ECOSYSTEM OF SEA OF AZOV UNDER THE INFLUENCE OF CLIMATIC AND ANTHROPOGENOUS FACTORS**

Проанализирована многолетняя изменчивость показателей биологической продуктивности и абиотических компонентов экосистемы Азовского моря. Установлена степень и характер связей между крупномасштабными климатическим изменениями и гидрологическими процессами в Азовском море и его бассейне, влияющими на динамику видового состава водных биоценозов, их продуктивность и устойчивость всей морской экосистемы. В качестве показателей климатических изменений использовались индексы Северо-Атлантического колебания (NAO) и данные по параметрам Сибирского антициклона. Обобщены сведения о влиянии антропогенной деятельности, связанной с гидростроительством и токсическим загрязнением отдельных акваторий. Сформулированы рекомендации по рациональной эксплуатации водных и биологических ресурсов.

Ключевые слова: Азовское море, морская экосистема, динамика биопродуктивности, экотоны, климат, гидрологический режим.

Long-term variability of indicators of biological efficiency and abiotic components of an ecosystem of sea of Azov is analysed. Degree and character of communications between large-scale climatic changes and hydrological processes in sea of Azov and its pool, influencing dynamics of specific structure of water biocenoses, their efficiency and stability of all sea ecosystem is established. As indicators of climatic changes indexes of North Atlantic fluctuation (NAO) and the data on parameters of the Siberian anticyclone were used. Data on influence of the anthropogenous activity connected with hydrobuilding and toxic pollution of separate water areas are generalised. Recommendations about rational operation of water and biological resources are formulated.

Keywords: sea of Azov, marine of ecosystem, dynamics of a bioproductivity, an ecotons, a climate, a hydrological mode.

Введение

Азовское море расположено на юге Европейской части России и принадлежит к бассейну Атлантического океана. Площадь Азовского моря составляет 39 тыс. км², объём – 290 км³, средняя глубина – 7 м. В последние два десятилетия экосистема Азовского моря, а также весь регион в целом, включающий бассейны рек Дон и Кубань, находятся в состоянии неблагоприятной экологической обстановки, оцениваемой для ряда районов и акваторий как кризисная. Основными причинами сложившейся ситуации является нерациональное использование водных и биологических ресурсов, отсутствие учёта при планировании хозяйственной деятельности специфики связей между климатическими гидрологическими, океанологическими изменениями, недостаточная разработанность прогностических сценариев изменчивости важнейших показателей морской экосистемы.

Азовское море – уникальный природный объект. С древнейших времен это море славилось не только большими уловами, но и обилием видового состава его обитателей. Древние греки, основавшие несколько крупных колоний на берегах Азова в VI–V вв. до н.э. называли этот водоем Меотида, что значит «кормилица». В последующие века неизменным спросом пользовались такие азовские деликатесы, как осетровые, керченская и донская сельдь, шема, судак и лещ, а также рыбец и тарань. В 1930-е гг. совокупные уловы промысловых рыб Азовского моря достигали около 300 тыс., что с учетом весьма небольшой площади моря является одним из самых высоких показателей рыбопродуктивности в водах Мирового океана. Однако вторая половина XX в. стала началом широкомасштабного антропогенного преобразования экосистемы Азовского моря. В бассейнах Дона, Кубани и других приазовских рек появилось множество искусственных водохранилищ. Эти обширные по площади испарители пресной воды используются для нужд орошаемого земледелия, охватывающего пространства в сотни тысяч гектаров. В интересах агротехники осуществляется снегозадержание на полях. Большое количество речной воды забирается для промышленных и бытовых целей.

Зарегулирование двух крупнейших рек бассейна Азова – Дона и Кубани снизило ежегодный приток пресной воды в Азовское море на 15 км³ или на 37 % от прежних объемов поступлений. Обильные весенние паводки на Дону стали большой редкостью. Теперь они бывают один раз в пять–семь лет. С 1952 г., после запуска Цимлянского гидроузла, все нерестилища белуги оказались отрезанными от моря. На 80 % были уничтожены нерестилища осетра, на 50% – севрюги и сельди. В итоге ценные породы рыб лишились созданных природой мест естественного размножения, существовавших не менее 200 тысяч лет. Рост изъятия пресных вод для хозяйственных целей в последующие годы на фоне естественного снижения увлажнённости территории, обусловили значительное сокращение пресного стока в море и возрастание поступления черноморских вод. В результате, с 1967 г. началось увеличение солёности моря и к концу 1970-х гг. её значения достигали 15–18 ‰ в южных районах и 7–10 ‰ в северо-

восточных, в среднем для моря составляя около 13,8 ‰, что привело к росту вертикальных градиентов солёности и плотности воды, ухудшило условия аэрации в придонных горизонтах [3, 4]. Существенно изменился состав фауны моря, в составе которой стали преобладать преимущественно морские малоценные виды рыб, а пресноводные виды рыб, составляющие ранее основу промысла, резко сократили свою урожайность и ареалы, что привело к падению суммарных уловов в море в 3–4 раза [9]. Существенно сократились площади ареалов нереста и нагула ценных карповых рыб: леща, тарани, рыбца. Резко сократились уловы судака [8, 13]. В последующие годы (1978–1982), наблюдалась преимущественно климатообусловленное увеличение увлажнённости бассейна Азовского моря, что привело к понижению солёности Азовского моря до 10,9 ‰, т.е. до величин оптимальных для рыбного хозяйства. В 1980-х гг. возросло загрязнение речных и морских вод пестицидами, фенолами и нефтепродуктами. В конце 1980-х и начале 1990-х гг. зафиксировано проникновение и массовое развитие чужеродных для местной экосистемы видов планктонофагов, что способствовало дальнейшему ухудшению экологической обстановки, снижению экономического потенциала региона и росту напряжённости в социальной сфере [9].

Существенное снижение притока пресной воды в море усугубляется сбросом неочищенных сточных вод, загрязненных токсичными веществами искусственного происхождения, которые слабо расщепляются микроорганизмами, обитающими в Азовском море. По заключению специалистов АзНИИРХ и ММБИ [9], Азовское море к настоящему времени значительно сократило способность к самоочищению и сдерживанию чрезмерных антропогенных нагрузок. Загрязнение моря неочищенными стоками привело к усилению его эвтрофикации. Интенсивно загрязняются илы и грунт, особенно в Таганрогском и Темрюкском заливах. Учащаются массовые заморы рыбы в низовьях Дона и Кубани.

Разложение продуктов нефтепереработки, отходов промышленного производства, сельскохозяйственной и бытовой химии в зараженных донных отложениях производят токсические бактериальные микроорганизмы. Этот естественный процесс не отличается высокой скоростью, а конечные продукты разложения, потребляемые водорослями, трудно перерабатываются аборигенными видами рыб. Для решения этой проблемы специалисты воспользовались особенностями кормовой базы дальневосточного пеленгаса – разновидности кефали. Эта рыба способна расщеплять и перерабатывать токсические бактериальные организмы и водоросли, превращая их в легко усвояемую органику, которая, в свою очередь, быстро минерализуется благодаря мелководности моря и хорошей прогреваемости его вод. Разведение пеленгаса, завезенного в Азово-Черноморский бассейн в 1960-е г., несколько снизило остроту проблем, связанных с очисткой придонного пространства от токсических загрязнений. Местная популяция пеленгаса вошла в число основных промысловых объектов.

К числу дополнительных источников загрязнения Азовского моря относятся водный транспорт и дноуглубительные работы, обеспечивающие его нор-

мальное функционирование на мелководье. Судоходство вызывает взмучивание илистых грунтов, разрушение лесозащитных полос у размываемых берегов рек, загрязнение акваторий нефтепродуктами. Влияние водного транспорта на экосистему Азовского моря достаточно велико: через прорытые по мелководьям судоходные каналы здесь ежегодно проходит порядка 7000 судов [9].

В начале XXI в. экосистема Азовского моря потенциально начала подвергаться новому воздействию, связанному с вводом в строй Ростовской АЭС. При отсутствии аварийных ситуаций на Ростовской АЭС низовья Цимлянского водохранилища и р. Дон, а также Таганрогский залив неизбежно испытают на себе последствия теплового загрязнения. В случае же возникновения чрезвычайных ситуаций возможно ожидать также и быстрого радионуклидного загрязнения, так как в качестве водоема-охладителя АЭС используется естественный залив, отгороженный от Цимлянского моря грунтовой дамбой.

Исторические данные свидетельствуют, что еще триста лет назад в России хорошо понимали важность заботы о водных ресурсах. В 1698 г. Петр I издал указ об очистке р. Дон. Указом 1719 г. за засорение Невы и других рек Петербурга предусматривалась ссылка на каторжные работы. За затопление балласта с кораблей виновные в первый раз подвергались штрафу, а повторная провинность вела к конфискации корабля. За последнее десятилетие в России принят ряд федеральных законов, указов президента, постановлений правительства и ведомственных нормативных актов, регулирующих отношения по природопользованию и охране окружающей среды. Для улучшения экологической ситуации в регионе приняты «Программа неотложных мер по оздоровлению окружающей среды Ростовской области на 1994–1996 годы» и «Программа действий по охране окружающей среды для Ростовской области на период до 2000 года». Однако их практическое воплощение оставляет желать лучшего. Неочищенные или плохо очищенные стоки из населенных пунктов по-прежнему сбрасываются в ближайшие водоемы, угрожая не только их рыбным запасам, но и безопасности и здоровью населения.

Таким образом, в Азовском море и в его бассейне к настоящему времени накопился значительный груз нерешенных экологических проблем, с каждым годом все более и более выводящий уникальную экосистему Азовского моря из состояния равновесия. Требуется срочная разработка и реализация новой комплексной научно обоснованной программы по восстановлению параметров экосистемы Азова на основе учета климатических, гидрологических и биопродукционных закономерностей, а также специфики промышленного и сельскохозяйственного производства в бассейне.

1. Климатические особенности региона

Климат Азовского моря относится к континентальному климату умеренных широт. Для региона характерна умеренно мягкая, короткая зима и теплое продолжительное лето. Сезонные изменения погоды на Азовском море формиру-

ются под влиянием крупномасштабных синоптических процессов. В осенне-зимнее время на Азовское море воздействует отрог сибирского антициклона. Это обуславливает ярко выраженное преобладание северо-восточных и восточных ветров со средней скоростью 4–7 м/с. Усиление интенсивности этого отрога вызывает сильные, до штормовых, ветры, сопровождающиеся резким похолоданием. Среднемесячная температура воздуха в январе составляет $-2...-5^{\circ}\text{C}$, однако во время северных и северо-восточных штормов она может понижаться до -25°C . В весенне-летнее время на Азовское море в значительной степени подвергается воздействию центров действия атмосферы над Северной Атлантикой, в основном влияние оказывает отрог Азорского максимума давления. Для этого периода характерно преобладание маловетренной, безоблачной и теплой погоды. Ветры неустойчивы по направлению, их скорость незначительна (3–5 м/с). Часто наблюдается полный штиль. Весной над морем наблюдаются средиземноморские циклоны, которые сопровождаются юго-западными ветрами со скоростью 4–6 м/с [4]. Прохождение атмосферных фронтов вызывает грозы и кратковременные ливни. Летом воздух над морем сильно прогревается, в июле среднемесячная температура воздуха равна $23-25^{\circ}\text{C}$.

Благодаря большому количеству поступающей солнечной радиации Азовское море имеет довольно высокую среднюю годовую температуру воды $11,5^{\circ}\text{C}$. В июле–августе температура воды достигает $24-25^{\circ}\text{C}$, а у берегов может превышать 30°C . Зимой температура воды равна или близка к точке замерзания. В периоды наибольшего охлаждения (январь–февраль) и наибольшего прогревания (июль–август) поля значений температуры воды обладают малой контрастностью. В весенний переходный сезон (апрель–май) вследствие влияния глубин на прогревание воды ее температура заметно повышается от центральных районов моря к прибрежным. Осенью (октябрь–ноябрь) вследствие разностей теплозапасов на различных глубинах отмечается обратная картина: температура воды понижается от открытого моря к прибрежным районам. Интенсивное ветро-волновое перемешивание вод при малых глубинах моря способствует выравниванию температур от поверхности до дна. Перепад температур во всей толще воды в среднем не превышает 1°C [4].

В среднем за многолетний период на поверхность Азовского моря выпадает 418 мм осадков в год. Распределение осадков по акватории моря неравномерное. Наибольшее количество выпадает в северо-восточном (Таганрогский залив) и восточном (Приморско-Ахтарск) районах моря. При этом в течение всего года количество осадков, выпадающих на побережье, превышает количество осадков, выпадающих на поверхность моря. В сезонном ходе количества осадков выделяется зимний максимум, составляющий 28–39 % от годового количества, и летний (июнь–июль) максимум, составляющий 21–29 %. На рис. 1 представлена многолетняя динамика значений атмосферных осадков выпадающих на поверхность Азовского моря в целом [4, 9]. Заметна выраженная межгодовая неоднородность в объемах выпадающих осадков и многолетни тенденции. За анализируемый пе-

риод времени выделяются следующие наиболее заметные периоды повышенных значений осадков: с 1932 по 1948, 1956–1958, 1966–1970, 2002–2003 гг.

Таким образом, климатическая ситуация в Азово-Черноморском регионе находится в уникальной зависимости от совокупного воздействия весьма различных климатообразующих центров: Северной Атлантики, Сибирского антициклона и Средиземноморского циклонического центра. Причем роль каждого из них значительно меняется в зависимости от сезона года. Поэтому при анализе влияния климатических параметров на гидрологический и гидрохимический режимы Азовского моря необходимо использовать несколько индексов, отражающих процессы циркуляции атмосферы над различными регионами. На рис. 1 представлена многолетняя динамика величин атмосферных осадков на поверхность Азовского моря. Заметна значительная межгодовая и многолетняя изменчивость. Выделяется период, соответствующий повышенным величинам осадков с 1932 по 1947 гг. Наиболее выраженная тенденция к сокращению осадков имела место в период с 1971 по 1990 г. Наиболее низкие значения были установлены для 1929, 1954 и 1990 гг. Выполненный спектральный анализ данных по осадкам показал, что наиболее существенные периоды изменений соответствуют в порядке убывания значимости 6,8, 7,4, 8,2, 27 и 82 году.



Рис. 1. Многолетняя динамика величин атмосферных осадков на поверхность Азовского моря

2. Гидрологический и гидрохимический режим

Характер гидрологических и гидрохимических процессов в Азовском море формируется под воздействием речного стока, водообмена с Черным морем, заливом

Сиваш и климатических процессов. Существенную роль играет мелководность моря. Значительный объем суммарного пресного речного стока, составляющий в среднем около 50 км³/год, существенный объем атмосферных осадков и ограниченное поступление черноморских вод через Керченский пролив обуславливают низкую соленость вод моря, которая примерно в 1,5 раза ниже солености чер-

номорских вод и почти в 3 раза ниже океанических. В Азовское море впадают две крупные реки – Дон и Кубань, суммарный расход которых составляет до 90 % общего стока в море и около 20 мелких. В табл. 1 представлены данные о составляющих водного баланса Азовского моря за период с 1920 по 1990 г. [1, 4, 9].

Таблица 1

Среднеголетний водный баланс Азовского моря (км³/год)

Приходная часть	
Речной сток	37,1
Осадки	15,5
Приток из Черного моря	36,7
Приток из залива Сиваш	0,4
В с е г о	89,7
Расходная часть	
Испарение	34,6
Сток в Черное море	53,6
Сток залив Сиваш	1,5
В с е г о	89,7

На рис. 2 показана многолетняя изменчивость значений суммарного речного стока в Азовское море [2, 4, 9]. Заметно, что имеет место выраженная межгодовая и многолетняя изменчивость. Определен значимый отрицательный тренд, свидетельствующий о наличии общей долговременной тенденции к снижению водности в бассейне Азовского моря. Однако в период с 1926 по 1933 и с 1941 по 1943 г. значения суммарного стока значительно превосходили норму. Выделяется также исключительно маловодный период с 1972 по 1976 г., в течение которого суммарный сток оценивался не более чем в 26 км³, что составляет примерно половину от многолетней нормы. Выполненный спектральный анализ данных показал, что наиболее существенными для колебаний суммарного стока являются в порядке убывания значимости периоды 13, 16, 20 и 5 лет. Очевидно, столь значительные колебания водности бассейна способны оказывать важное влияние на режим солености акваторий Азова и поступление биогенных веществ в море.

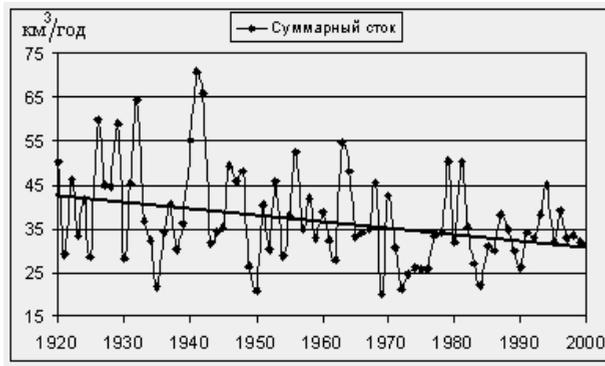


Рис. 2. Многолетняя динамика величин суммарного речного стока в Азовское море. Жирной линией показана линия тренда

Пространственное распределение солёности характеризуется значительными горизонтальными градиентами в Таганрогском заливе, особенно в его восточной части, и на взморье Кубани. В центральной части моря солёность меняется с северо-востока на юго-запад в значительно меньшей степени. Вследствие малого объема моря и большой временной изменчивости речного стока межгодовые изменения солёности могут достигать 1 ‰ и более, а многолетние – свыше 4 ‰. По причине замедленного водообмена с Чёрным морем через Керченский пролив [1] и значительного поступления пресных речных вод, солёность моря в среднем в настоящее время не превышает 11 ‰, а в наиболее опреснённом Таганрогском заливе составляет от 3 до 8 ‰. На рис. 3 представлена многолетняя изменчивость солёности в Азовском море в целом и в Таганрогском заливе [9]. Как видно из представленных графиков, колебания солёности воды в Азовском море и в Таганрогском заливе во многом синхронны ($r = 0,74$ при $P = 99 \%$), периоды подъема и снижения совпадают. Однако для Таганрогского залива заметна более высокая степень межгодовой изменчивости, что непосредственно связано с динамикой параметров стока Дона. Воды открытой части моря характеризуется большим постоянством солевого состава. За анализируемый период времени наиболее ярко выделяются период экстремально низких значений солёности воды – с 1923 по 1932 г. и период особо повышенных значений – с 1973 по 1979 г., что согласуется с особенностями динамики речного стока. Основной ионный состав вод открытой части моря отличается от солевого состава океана относительной бедностью ионов хлора и натрия и повышенным содержанием преобладающих компонентов вод суши: кальцием, карбонатами и сульфатами.

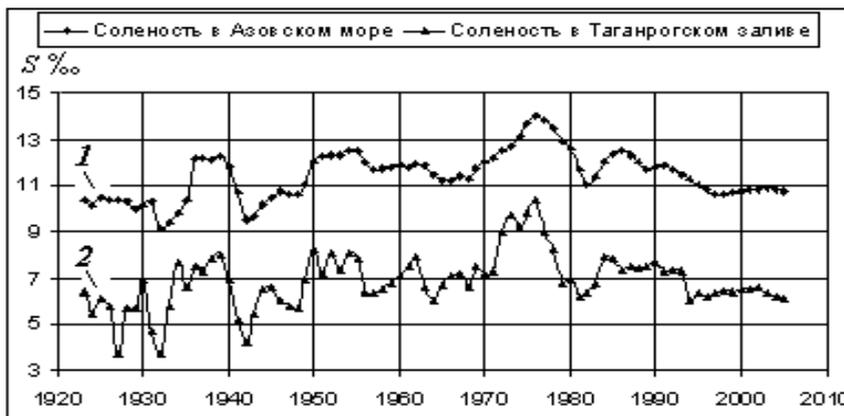


Рис. 3. Многолетняя изменчивость солёности воды в среднем по Азовскому морю (1) и в Таганрогском заливе (2)

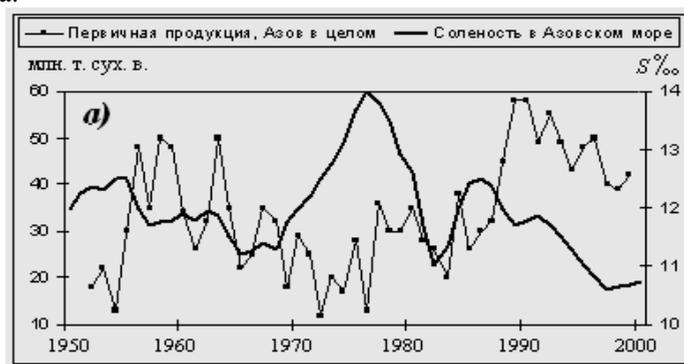
Под влиянием антропогенных факторов на фоне общего повышения суммарного содержания минеральных солей в водах рек Дона и Кубани, питающих Азовское море, увеличилось вдвое относительное содержание сульфатов, хлоридов и щелочных металлов в речных водах.

Объем поступления биогенных веществ с речными водами зависит от климатических и антропогенных факторов и представляет собой наиболее изменчивый элемент приходной части баланса. Безвозвратное изъятие речных вод, а также зарегулирование стока Дона и Кубани изменили скорости поступления биогенных веществ в Азовское море и трансформировали их качественный состав. После зарегулирования Дона в его водах резко возросло содержание азота, а содержание фосфора уменьшилось. Характерной тенденцией современной динамики биогенных веществ в водах рек, питающих Азовское море, является также снижение содержания общего фосфора и рост содержания азота. При этом трансформация биогенного стока рек характеризуется не только его сокращением, но и весьма резким нарушением его внутренней структуры, что выражается в изменении соотношений в нем азота и фосфора. Пространственное распределение и сезонная динамика фосфорсодержащих соединений в Таганрогском заливе и собственно в море формируются под воздействием речного стока, продукционных процессов и процессов седиментации. Сезонный ход концентрации фосфатов в Таганрогском заливе не подчиняется определенной закономерности. Вертикальные градиенты концентраций фосфатов наиболее характерны для лета. В отдельные годы, отличающиеся низким содержанием кислорода, вертикальные градиенты концентраций фосфатов достигают около 100 мкг/л. В периоды стагнации восстановительные условия, возникающие в контактной зоне, способствуют миграции в воду значительной части обменного фонда фосфора, находящегося в донных осадках. Соединения фосфора в Азовском море находятся в основном в форме органических соединений. Относительное содержание минеральных форм фосфора составляет в среднем 12 % при колебаниях 6–40 % [2, 9].

Источниками пополнения неорганическими формами азота в морских водах являются речной сток и атмосферные осадки, переход биогенных веществ из донных отложений при возникновении анаэробных ситуаций, биохимические процессы деструкции и хемосинтеза органического вещества. Уменьшение концентраций различных форм минерального азота обусловлено в основном их потреблением в процессах фото- и хемосинтеза. Пространственное распределение минеральных компонентов азота в целом характеризуется локализацией максимальных концентраций ионов аммония, нитритов и нитратов в Таганрогском заливе, особенно в его устьевой части. По направлению к морю концентрация минеральных форм азота постепенно снижается. Благодаря развитию фитопланктона в теплый период года потребление минеральных форм азота весьма существенно возрастает и содержание нитритов иногда снижается до количеств, лимитирующих развитие жизни в море. Пространственное распределение органического азота характеризуется незначительными вариациями его концентраций по акваториям, но максимум концентраций отмечается в Таганрогском заливе. В собственно Азовском море в сезонном аспекте наблюдается постепенное увеличение концентрации органического азота от весны к осени [4, 9].

3. Динамика биопродукционных показателей

Рассмотрим многолетнюю изменчивость биологической продуктивности важнейших компонентов биоценозов Азовского моря. На рис. 4. представлена многолетняя динамика первичной продукции (фитопланктона) Азовского моря в целом (а) и биомассы зоопланктона (б) [9, 12] в сравнении с изменчивостью солености воды. Статистический анализ тесноты связи данных биопродукционных параметров с соленостью воды показал наличие значимой отрицательной связи ($r = -0,43$ и $r = 0,41$ при $P = 99\%$). Это может свидетельствовать о том, что на фоне возрастания солености морской воды происходит перестройка в планктонном сообществе, сопровождающаяся угнетением и сокращением продуктивности традиционных доминирующих видов, адаптированных к жизни в условиях пониженной солености (от 8 до 11 ‰). В период интенсивного повышения солености воды с 1973 по 1979 г. (до 14 ‰) наблюдалось снижение первичной продукции в 2–3 раза, а общей биомассы зоопланктона – в 2,5–3,2 раза.



а



б

Рис. 4. Сравнение многолетней динамики значений первичной продукции (а) и общей биомассой зоопланктона в собственно Азовском море (б) с соленостью воды

На рис. 5 показана многолетняя динамика уловов основных промысловых видов Азовского моря [2, 8, 9, 13]. Как видно из рис. 5, а, в середине 1930-х гг. отмечались очень высокие уловы судака и леща. В этот же период были высокими и уловы других карповых рыб: тарани, рыба. Однако уже ко второй половине 1940-х гг. уловы этих рыб снизились в 3–4 раза. В дальнейшем, на фоне роста значений солености и загрязнением нерестилищ с середины 1950-х по 1980-е гг. уловы рыб, принадлежащих к континентальному солоновато-водному комплексу продолжали быстро падать. Известно, что взрослый судак может нагуливать при достаточно больших значениях солености, до 7–8 ‰, но для успешного выживания его икры соленость не должна превышать 1,5–2 ‰. Это справедливо и для большинства карповых рыб, генетически связанных с пресноводными водоемами суши, но выработавших определенные адаптации к жизни в солоноватой воде внутренних морей [10, 14]. С середины 1950-х по 1980-е гг. уловы рыб, принадлежащих к континентальному солоновато-водному комплексу, продолжали быстро падать. Поэтому рост значений солености выше допустимых пределов резко сократил ареал нагула и зимовки судака и карповых рыб, а нарушение естественного гидрологического режима и загрязнение среды в устьевых зонах рек, служащими для них нерестилищами, столь сильно повлияло на урожайность и уловы. К этому очевидно добавилось влияние пищевого фактора – сокращение традиционной зоопланктонной кормовой базы молоди.

Уловы генетически морских видов рыб – мелких представителей семейства сельдевые (рис. 5, б) демонстрируют значительные межгодовые колебания, с периодом около 15 лет, но выраженная единая тенденция изменения их урожайности и уловов не проявляется. Тюлька и хамса созревают в основном уже на второй год жизни, поэтому для данных видов практически всегда свойственна значительная межгодовая изменчивость урожайности поколений и уловов. Тем не менее, максимальные за анализируемое время величины суммарных уловов морских рыб были зарегистрированы в период наибольшего осолонения Азова – с 1972 по 1979 г. Ареалы морских рыб располагаются преимущественно в центральных, юго-западных и южных районах моря, более близких к Керченскому проливу и регулярно затрагиваемых поступлением трансформированных высокосоленных вод из Черного моря. Хамса использует Азов, прежде всего, как ареал кормления, прибывая сюда в массе весной из Черного моря, где проходит ее зимовка. Наличие указанной периодичности в величинах уловов может свидетельствовать о зависимости численности морских рыб от соответствующей периодичности интенсивных и длительных затоков черноморских вод в Азовское море, на фоне ослабления речного стока. Кроме того, резкое снижение уловов морских рыб, наблюдавшееся в начале 1990-х гг. и продлившее, как минимум, до 2000 г., может быть объяснено вселением и массовым развитием в Азовском море интродуцента-планктонофага гребневика *Mnemiopsis leidy*, резко сократившем численность кормового планктона морского происхождения.



a



б

Рис. 5. Многолетняя динамика основных промысловых рыб Азовского моря:
a – судака и леща; *б* – тюльки, хамсы

Обобщая и анализируя данные о динамике пространственного распределения солености воды как важнейшего экологического фактора среды в условиях Азовского и других внутренних морей, а также сведения о расположении ареалов генетически морских и генетически пресноводных континентальных видов рыб, можно прийти к построению соответствующих пространственных схем их распределения в зависимости от режима солености. Согласно существующей концепции «критической солености биологических процессов» [14], разработанной на примерах экосистем внутренних морей, значения солености воды от 7 до 8 ‰ являются условной границей между континентальной пресноводной – солоновато-водной фауной и морской. Именно эти значения солености способны определить пространственную дифференциацию соответствующих водных биоценозов. Данный подход нашел свою реализацию применительно, в частности, к экосистеме Балтийского моря [6, 7]. На границе разнородных сообществ формируется более или менее обширная переходная зона, которую называют экотон. Применительно к экосистеме Азовского моря выделение зон экотонов и установление временной динамики их параметров представляется целесообразным в силу наглядности представления обобщенной информации об из-

менчивости ее главных биотических и абиотических компонентов. Кроме того, знание положения зоны экотона, и тенденции ее изменения, способно помочь и в оптимизации рыбного промысла.

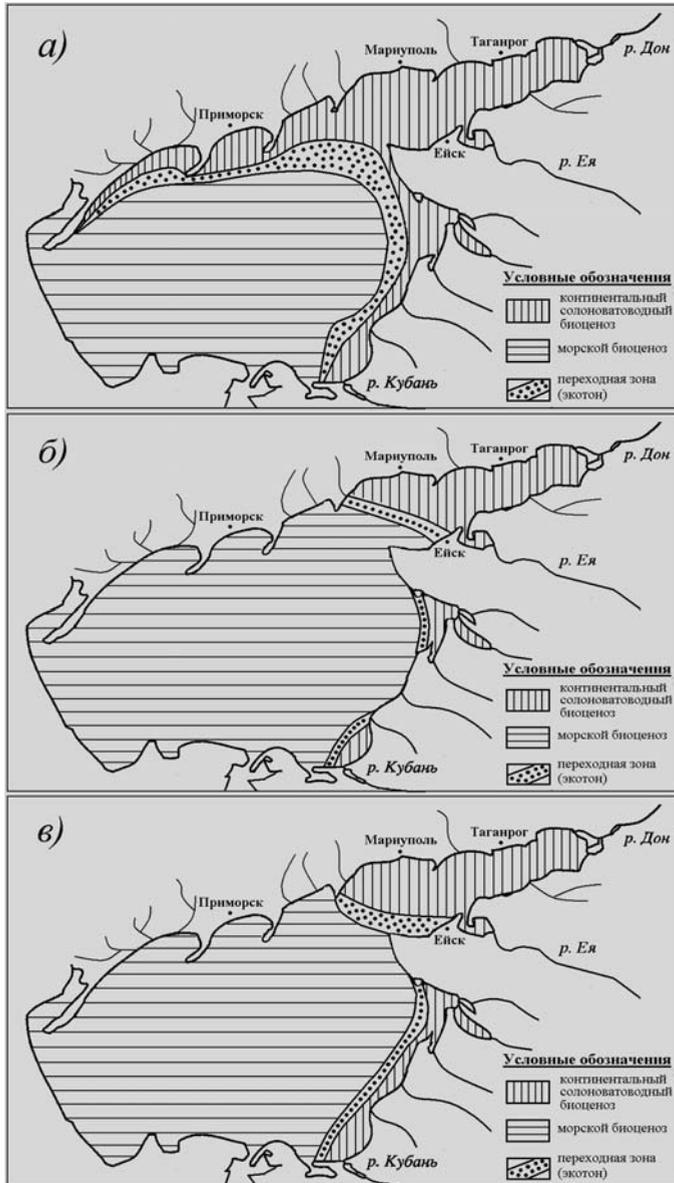


Рис. 6. Схема динамики расположения двух основных типов биоценозов Азовского моря: континентального солоновато-водного и морского с обозначением переходной зоны между ними (зоны экотона): а – 1936–1951 гг.; б – 1974–1976 г. в – 2000–2004 гг.

На рис. 6 представлены примерные обобщенные границы ареалов гидробионтов принадлежащих к солоновато-водным и морским биоценозам Азовского моря. Границы ареалов, протяженность и ширина зоны взаимодействия между ними определены исходя из концепции «критической солености» и соответствуют положению изогалин 7 и 8 ‰ [4, 9]. Как видно из рис. 6, *а*, в период с 1936 по 1951 г. ареал обитания представителей континентального солоновато-водного биоценоза, в состав которого входили ценные виды карповых рыб, занимал не менее 40 % от всей площади моря. Имелись достаточные участки для их размножения в устьевой зоне рек и непосредственно в заливах, в районах с соленостью до 2 ‰, а также для нагула взрослых особей в солоноватых водах до 5–8 ‰. По сути, соленосные условия на всей прибрежной зоне моря на севере, северо-востоке и востоке, включая практически полностью Таганрогский залив и значительную часть Темрюкского залива, были достаточны для успешного развития судака, тарани, рыбца, карпа. Наиболее широкая зона экотона, очевидно, располагалась на выходе из Таганрогского залива, вбирающего в себя воды крупнейшей реки бассейна Азова – Дона. Ареал обитания представителей морского биоценоза, в основном черноморского происхождения, в рассматриваемый период времени располагался преимущественно в южных, юго-западных и центральных районах моря. В целом, такая ситуация соответствовала увеличению водности рек в бассейне Азовского моря, значительному возрастанию поступления пресных вод, существенному подъему за счет этого уровневной поверхности моря и отсутствию интенсивных и продолжительных затоков черноморских вод. Во многом именно поэтому в середине 1930-х гг. уловы рыб пресноводного – солоновато-водного биоценоза достигали максимума (рис. 5, *а*).

На рис. 6, *б* представлено расположение обобщенных границ биоценозов континентального солоновато-водного и морского комплексов. Заметно, что к середине 1970-х гг. ситуация значительно изменилась. Произошло резкое климатообусловленное снижение водности рек в бассейне Азовского моря. Положение усугубилось вводом в эксплуатацию водохранилищ на Дону (Цимлянское, 1952 г.) и р. Кубани (Краснодарское, 1972 г.). Существенные потери воды происходили за счет испарения с обширных акваторий водохранилищ, а также по причине строительства большого количества ирригационных каналов и забора воды на орошение полей. В итоге, суммарный сток в Азовское море сократился в этот период до 25 км³/год, что составляет около половины от нормы. Естественным следствием этих процессов стало значительное повышение солености воды в Таганрогском заливе и в Азовском море в целом (рис. 3). В результате ареалы представителей континентального солоновато-водного комплекса весьма значительно сократились, а акватории, занимаемые морскими биоценозами, расширились. Успешное размножение и нагул промысловых карповых рыб и судака теперь стало возможным только непосредственно в устьевой зоне крупных рек и в вершине Таганрогского залива. Переходные сообщества экотонных стали занимать меньшие площади, границы между разнородными

по соленосным условиям существования биоценозами сузились. В результате, уловы ценных карповых рыб резко упали, а мелкие морские представители промысловой ихтиофауны, прежде всего тюлька и хамса, демонстрировали резкий рост своей урожайности и уловов.

Схема, представленная на рис. 6, в, отражает площади, которые могли бы занимать представители пресноводно-солонатово-водного и морского биоценозов, близкие к современному этапу развития экосистемы Азовского моря, на основе данных о распределении солености воды [4]. Водность рек в бассейне моря к началу XXI в несколько возросла, что могло бы положительно сказаться на воспроизводстве карповых рыб и судака, но по причине высокой степени загрязнения воды устьях рек, разрушения традиционных нерестилищ в процессе гидростроительных работ их уловы продолжают оставаться на весьма низком уровне. Осетровые породы, некогда составлявшие особую гордость региона, также в настоящее время не могут полноценно самостоятельно воспроизводиться по причине загрязнения районов нерестилищ в низовьях рек или отсутствия доступа к ним. Проблему усугубляет хищническое браконьерство, и несмотря на работу нескольких осетроводческих производств и массовый выпуск молоди в море, увеличения численности стада осетровых в Азовском море достичь пока не удается.

Таким образом, мы видим, что компоненты экосистемы Азовского моря весьма динамичны. Пограничный характер значений «критической солености» способен быстро приводить к изменениям в составе доминирующего биоценотического комплекса и влиять на его успех воспроизводства его представителей, в том числе экономически важных видов промысловых рыб, на значительной площади акватории моря. В связи с этим, возникает необходимость установить крупномасштабные причины происходящих изменений с целью возможного предвидения развития ситуации.

2. Анализ влияния крупномасштабных параметров циркуляции атмосферы на гидрологические и океанологические характеристики региона Азовского моря

Климат Северной, Центральной и Южной Европы в значительной мере зависит от атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой, которая представлена системами низкого и высокого давления. Центральная часть циклонической системы низкого давления обычно располагается к юго-западу от о. Исландия. Южнее Исландского минимума давления, в районе Азорских островов, находится центр антициклонической системы высокого давления, получивший название Азорского максимума давления. Данные системы называют центрами действия атмосферы, которые формируют также соответствующие вихревые структуры в океане [11]. Благодаря им, в умеренных широтах над Северной Атлантикой постоянно осуществляется перенос воздушных и поверхностных водных масс и тепловых потоков с запада на восток. Интенсивность переносов

в атмосфере и в океане подвержена значительным колебаниям во времени вследствие того, что параметры центров действия, т.е. их положение в пространстве и интенсивность, изменяются во времени весьма заметно. Изменения их интенсивности определяют не только интенсивность зональной циркуляции, но, как показано в [11], и интенсивность меридиональных переносов воздушных масс и в атмосфере и поверхностных вод в океане. В качестве степени интенсивности переносов воздушных, водных масс и тепла принимают разность атмосферного давления на станциях, расположенных около климатических центров действия. Эту разность давления, определяемую, как правило, в среднем за зимние месяцы, называют Северо-Атлантическим колебанием (North Atlantic Oscillation – NAO). Индекс атмосферной циркуляции NAO широко используется в отечественной и мировой практике изучения колебаний климата и их причин. Среди других подходов к оценке атмосферной циркуляции индекс NAO имеет некоторые преимущества, что и является причиной его широкого признания. Расчёт индекса NAO происходит по разности конкретных значений давления воздуха на постах наблюдений, что позволяет оценить интенсивность атмосферной циркуляции, темп ее изменчивости во времени. Кроме того, индекс NAO рассчитывается по разности давлений воздуха на уровне моря, что позволяет иметь более точное представление о специфике происходящих метеорологических процессов в непосредственной близости от расположения морских и наземных экосистем.

Существуют различные варианты индекса NAO. Наиболее часто используется разность давления между Азорскими островами (Понта-Делгада) и Исландией (Акурейри), осредненная за три зимних месяца (декабрь–февраль) – индекс NAO₁. Представляют его непосредственно в единицах давления (гПа) или в виде отклонения от среднего в долях дисперсии. Несколько реже используют разности давления между пунктами Лиссабон (Португалия) и Стиккисхоульмур (Исландия), осреднённые за четыре зимних месяца (декабрь–март) – NAO₂. Кроме того, для характеристики Северо-Атлантического колебания применяют непосредственную разность давлений между центрами действия атмосферы – NAO₃, а также разности давления на меридиане, между точками с координатами 45 ° с.ш., 30 ° з.д. и 60 ° с.ш., 30 ° з.д., осреднённые за три зимних месяца (декабрь–февраль) – NAO₄. В работе [11] был разработан обобщенный индекс Северо-Атлантического колебания (NAO об.) представляющий собой первую главную компоненту разложения четырех наиболее распространенных индексов NAO на естественные ортогональные функции (ЕОФ). Данный индекс показал высокую эффективность при анализе взаимосвязей между климатическими и гидрологическими процессами в регионе Северной Европы [6] и в Северной Атлантике в целом [11].

Достаточно эффективным является также традиционный метод использования в качестве показателей климатических колебаний форм атмосферной циркуляции Вангенгейма-Гирса [5], широко используемый в обобщающей работе [9].

Самыми главными особенностями изменчивости интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой за последнее столетие можно считать её исключительное ослабление в 1960-е г. и весьма значительный рост в конце 1980-х – начале 1990-х гг., что находит свое подтверждение в характере колебаний значений всех индексов NAO. В 1960-е гг. резко снизился западный зональный перенос в умеренных широтах, был сильно ослаблен перенос теплых воздушных масс к северу над северо-востоком Северной Атлантики и холодных воздушных масс в южном направлении над северо-западом. В дальнейшем, начиная со второй половины 1980-х г., наблюдалось развитие тенденции к возрастанию интенсивности зональной циркуляции, которое никогда ранее не проявлялось в столь значительных масштабах.

На фоне долгопериодных колебаний интенсивности атмосферной циркуляции заметны также её вариации с периодом от 16 до 20 лет. Спектральный же анализ изменчивости индекса NAO показал, что наиболее заметным на спектре является максимум на периоде 7,8 года. Значимого тренда за период около 100 лет в интенсивности циркуляции атмосферы над регионом Северной Атлантики не обнаружено.

Сибирский антициклон формируется над восточной Сибирью, Якутией и близлежащими областями. Наибольшая активность выражена в осенне-зимний период. Известно, что географическое положение Сибирского антициклона подвержено значительной временной изменчивости и его отроги способны достигать Кавказа, побережья Черного и Азовского морей. Поэтому исследование влияния данного центра действия атмосферы на климат региона Азовского моря представляется целесообразным.

Произведён комплексный анализ взаимосвязей между климатическими, гидрологическими и океанологическими процессами в Азовском море и его бассейне. Результаты корреляционного анализа представлены в табл. 2.

Установлено, что возрастание интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой сопровождается снижением температуры воды и воздуха в Азовском регионе, уменьшением количества атмосферных осадков и стока крупнейших рек. В то же время приток высокосолёных водных масс в Азовское море из Чёрного увеличивается по причине некоторого снижения уровня Азова на фоне сокращения речного стока. Изменение солёности Азовского моря и прибрежной северо-западной части

Чёрного моря также находится в тесной зависимости от климатических изменений. Как было показано выше, в связи с динамикой солёности воды находятся также и показатели распределения и биопродуктивности организмов морского и пресноводного комплексов. Влияние Сибирского антициклона существенно меньше, чем Атлантики, но вполне заметно. На фоне его развития, как правило, с запаздыванием до 1 года, происходит снижение объема стока р. Дон и суммарного стока в Азовское море, увеличивается солёность воды в собственно Азовском море. Очевидно, роль Сибирского антициклона заключается не только в

выхолаживании отдельных территорий Краснодарского края и Ростовской области в осенне-зимнее время, но и состоит во влиянии на траектории атлантических циклонов, за счет чего они смещаются несколько к северу. За счет этого снижается количество атмосферных осадков в бассейне Азовского моря, что, в свою очередь, приводит к росту солености морских вод. Иллюстрациями основных выделенных являются рис. 7, 8, 9.

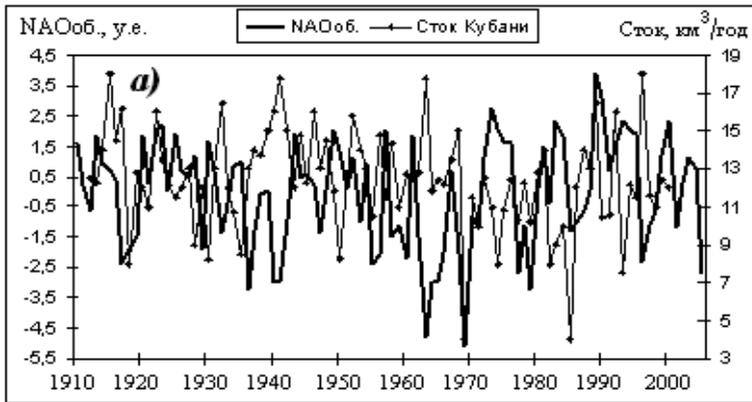
Таблица 2

Коэффициенты корреляции (r) между значениями индексов NAO, давлением в центре Сибирского антициклона и гидрометеорологическими условиями в регионе Азовского моря

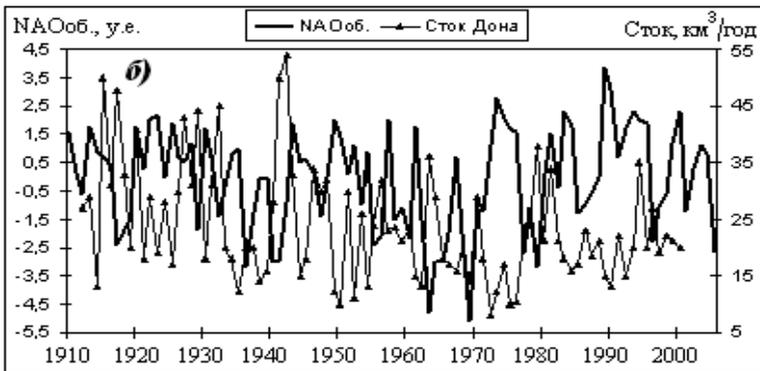
Абиотические условия и факторы	Временной сдвиг относительно климатических индексов, годы	Варианты индексов NAO			Давление в центре Сибирского антициклона
		NAO ₁	NAO ₂	NAOоб.	
Среднегодовая T °C воздуха в Ростове-на-Дону	0	-0,52**	-0,55**	-0,57**	-0,33*
	1	-0,34*	-0,46**	-0,37*	-0,16
	2	-0,024	-0,012	-0,031	-0,12
Среднегодовая T °C воздуха в Керчи	0	-0,48**	-0,52**	-0,47**	-0,25
	1	-0,31*	-0,34*	-0,32*	-0,14
	2	-0,026	-0,022	-0,035	-0,08
Атмосферные осадки на поверхность моря	0	-0,48**	-0,52**	-0,52**	0,087
	1	-0,32*	-0,33*	-0,36*	0,07
	2	-0,022	-0,015	-0,021	0,03
Испарение с поверхности моря	0	-0,35*	-0,41**	-0,42**	-0,15
	1	-0,25	-0,27	-0,24	-0,12
	2	-0,031	-0,011	-0,024	0,07
Суммарный речной сток в море	0	-0,45**	-0,56**	-0,54**	-0,26
	1	-0,17	-0,083	-0,123	-0,35*
	2	0,052	-0,012	0,075	-0,21
Средний годовой сток р. Дон	0	-0,52**	-0,61**	-0,56**	-0,24
	1	-0,43**	-0,46**	-0,48**	-0,32*
	2	-0,25	-0,271	-0,281	-0,21
Средний годовой сток р. Кубань	0	-0,48**	-0,51**	0,53**	-0,26
	1	-0,33*	-0,36*	-0,37*	-0,36*
	2	-0,22	-0,202	-0,13	-0,24
Приток водных масс из Чёрного моря	0	0,48**	0,52**	0,53**	0,052
	1	0,36*	0,38*	0,33*	0,12
	2	0,21	0,18	0,19	0,08
Соленость воды в собственно Азовском море	0	0,48**	0,51**	0,52**	0,46**
	1	0,37*	0,35*	0,38*	0,41*
	2	0,12	0,14	0,17	0,34*

Примечания: выделенные знаком «*» значения коэффициентов корреляции соответствуют 95 %-ному уровню обеспеченности; знак «**» соответствует 99 %-ному уровню.

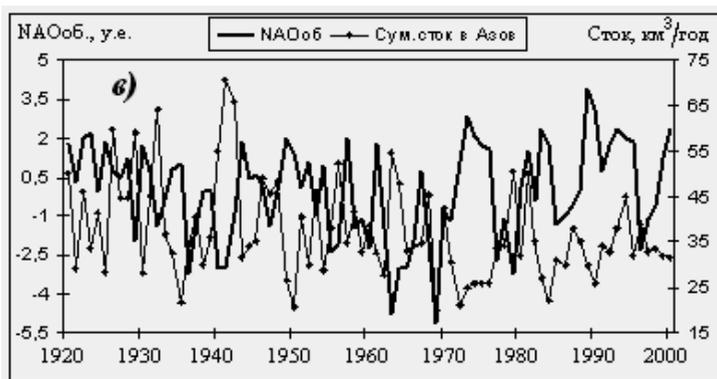
Таким образом, естественные климатические изменения, влияющие прежде всего на сток рек и компоненты солевого баланса морей, являются важнейшей причиной трансформации экосистемы Азова. Установлено, что видовая структура экосистемы Азова и её биопродуктивность весьма уязвимы и находятся в определяющей зависимости от величин пресного стока р. Дон.



a



б



в

Рис. 7. Сравнение многолетней динамики речного стока рек Кубань (а), Дон (б) и суммарного стока в Азовское море с изменчивостью обобщенного индекса Северо-Атлантического колебания

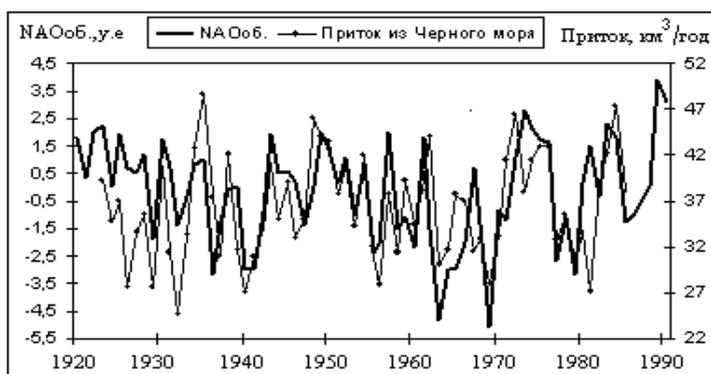
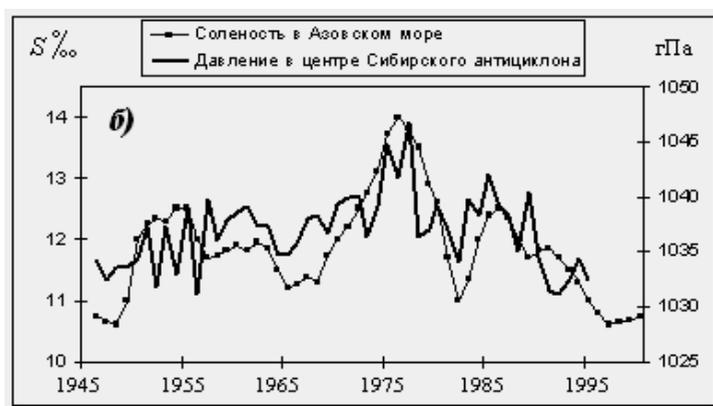


Рис. 8. Сравнение многолетней динамики величин притока черноморских вод в Азов с изменчивостью обобщенного индекса Северо-Атлантического колебания



a



б

Рис. 9. Сравнение многолетней динамики давления в центре Сибирского антициклона с суммарным речным стоком (*a*) и соленостью Азовского моря (*б*)

Заключение

Обобщение и анализ данных о климатических, гидрологических, гидрохимических и промыслово-гидробиологических аспектах динамики экосистемы Азовского моря позволяет сформулировать следующие основные выводы.

1. Речной сток, составляя в современных условиях десятую часть объема Азовского моря, во взаимодействии с температурой и ветром формирует его физико-химический облик в течение 4–6 лет. Содержание азота, кремниевой кислоты, фосфора находится в прямой зависимости от стока рек за рассматриваемый период и соответственно за 3, 2–5 и 5–9 предшествующих лет. Увеличению содержания азота способствуют повышенный температурный фон и пониженная ветровая активность. Концентрации фосфора и кремниевой кислоты возрастают в случае повышения температурного фона и увеличения скорости ветра.

2. Результирующее воздействие климатических и антропогенных факторов в зарегулированных условиях привело к сокращению годового (на 18 %), и особенно, весеннего стока (на 24 %), резкому уменьшению (до 10–15 %) повторяемости благоприятного водного режима на донских и кубанских пойменных и русловых нерестилищах проходных и полупроходных рыб. Соленость Азовского моря повысилась к концу периода, т. е. тренд составил около 0,5–0,6 ‰. Увеличились ее горизонтальные и вертикальные градиенты, уменьшилась интенсивность вертикального обмена энергией и веществом между водными массами за счет турбулентного и конвективного перемешивания. Возросла устойчивость водных масс. Для многолетних колебаний содержания в водной толще Азовского моря азота и отношения N : P характерны положительные тренды, а для аналогичных изменений концентраций фосфора, кремниевой кислоты и первичной продукции – отрицательные. Степень многолетней изменчивости солености, содержания азота и фосфора возросла, первичной продукции – уменьшилась.

3. Рост интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой, эффективным индикатором которого является NAO, сопровождается смещением траекторий циклонов на северо-восток Европы, по направлению к бассейнам Балтийского и Белого морей. Снижение интенсивности атмосферной циркуляции над данным регионом приводит к смене направлений переноса тепла и влаги с Атлантики на юго-восток Европы, в бассейны Азовского и Черного морей. В связи с данными тенденциями, происходят соответствующие противоположные значительные изменения в термическом, гидрологическом, океанологическом и гидробиологическом режимах внутренних морей. Наиболее значимыми периодами с точки зрения воздействия климатических изменений на экосистемы внутренних морей за последние 100 лет следует признать 1932–1936, 1972–1977, и 1989–1992 гг.

4. В настоящее время регион Азовского моря продолжает оставаться в депрессивном состоянии, несмотря на наличие огромного экономического потенциала. Для выхода из кризиса требуется разработка стратегии по устойчивому

развитию всего Азово-Черноморского региона, которые должны обязательно учитывать особенности совместного влияния климатических, океанологических, гидрологических и антропогенных процессов и факторов на береговую зону и экосистему морей. Именно такой подход позволит, во-первых, обосновать конкретные эффективные практические шаги, направленные на восстановление продуктивности и экологического благополучия моря и, во-вторых, обеспечит разработку прогноза ожидаемых естественных природных изменений, в строгом соответствии с которыми должна определяться величина природно-ресурсного потенциала отдельных районов и всего региона в целом.

Работа выполнена при поддержке Правительства Санкт-Петербурга (персональные гранты для молодых ученых 2008 – 2009 гг.).

Литература

1. *Альтман Э.Н.* К вопросу об изменчивости расходов воды в Керченском проливе по натурным наблюдениям. // Труды ГОИН, 1976, вып. 132, с. 17–28.
2. *Брофман А.М., Дубинина В.Г., Макарова Г.Д.* Гидрологические и гидрохимические основы продуктивности Азовского моря. Монография. – М.: Пищевая пром-сть, 1979. – 288 с.
3. *Гаргопа Ю.М.* Крупномасштабные изменения гидрометеорологических условий формирования биоресурсов Азовского моря // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна. – Ростов-н-Дону: АЗНИИРХ, 2000, с. 20–27.
4. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 5. Азовское море. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 237 с.
5. *Гирс А.А.* Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 230 с.
6. *Дроздов В.В., Смирнов В.В.* Колебания климата и донные рыбы Балтийского моря. – СПб.: изд. РГГМУ, 2008. – 249 с.
7. *Дроздов В.В., Гасанова Э.Г.* Влияние солёности воды на состав биоценозов и формирование зон экотонов в Балтийском море // Ученые записки РГГМУ, 2003, № 1.
8. *Зайдинер Ю.И., Попова Л.В.* Уловы рыб и нерыбных объектов рыбохозяйственными организациями Азово-Черноморского бассейна (1990–1995 гг.): Стат. сб. – Ростов-на-Дону: Молот, 1997. – 100 с.
9. *Матишов Г.Г., Гаргопа Ю.М., Бердников С.В.* и др. Закономерности экосистемных процессов в Азовском море. Монография. Южн. науч. центр РАН. – М.: Наука, 2006. – 304 с.
10. *Никольский Г.В.* Экология рыб. – М.: 1974. – 368 с.
11. *Смирнов Н.П., Воробьев В.Н., Кочанов С.Ю.* Северо-Атлантическое колебание и климат. – СПб.: изд. РГГМУ, 1998. – 122 с.
12. *Студеникина Е.И., Алдакимова А.Я., Губина Г.С.* Фитопланктон Азовского моря в условиях антропогенных воздействий. Монография. – Ростов-на-Дону: Эверест. 1999. – 175 с.
13. Уловы рыб и нерыбных объектов рыбохозяйственными организациями Азовского бассейна и прилегающих участков Черного моря (1960–1990 гг.). – СПб., 1993. – 172 с.
14. *Хлебович В.В.* Критическая солёность биологических процессов. – Л.: Наука, 1974. – 236 с.