

**ЭКОЛОГИЯ***В.В. Дроздов***ПРИНЦИПЫ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ЭКОСИСТЕМ  
БАЛТИЙСКОГО, БЕЛОГО, ЧЕРНОГО И АЗОВСКОГО МОРЕЙ  
К КЛИМАТИЧЕСКИМ ИЗМЕНЕНИЯМ***V.V. Drozdov***PRINCIPLES OF AN ESTIMATION OF STABILITY  
OF ECOSYSTEMS OF THE BALTIC, WHITE, BLACK  
AND AZOV SEAS TO CLIMATIC CHANGES**

*С целью установления принципов оценки устойчивости экосистем Балтийского, Белого, Черного и Азовского морей к климатическим изменениям выполнен анализ динамики климатических, океанологических, гидрологических и гидробиологических характеристик. Разработаны структурные схемы связей между природными процессами и факторами, которые необходимо учитывать при оценке устойчивости экосистем внутренних морей к климатическим изменениям. Предложены аналитические выражения, позволяющие произвести количественную оценку степени устойчивости абиотических и биотических компонентов морских экосистем.*

*Ключевые слова: Балтийское, Белое, Черное, Азовское моря, климат, экосистемы устойчивости.*

*For the purpose of an establishment of principles of an estimation of stability of ecosystems of the Baltic, White, Black and Azov seas to climatic changes, the analysis of dynamics of climatical, oceanological, hydrological and hydrobiological characteristics is made. Block diagrams of communications between natural processes and factors which are necessary for considering at an estimation of stability of ecosystems of closed seas to climatic changes are developed. The analytical expressions, allowing to make a quantitative estimation of degree of stability abiotic and biotic components of sea ecosystems are offered.*

*Key words: Baltic, White, Black, Azov seas, a climate, ecosystems, stability.*

**Введение**

В последние десятилетия одним из основных приоритетов в научных исследованиях учёных всего мира стало изучение колебаний на планете. Организованы крупные международные организации и проекты (CLIVAR, IPY, и др.), нацеленные на анализ происходящих климатических изменений во многих регионах мира. При этом колебания климата и связанные с ним процессы изменения температурного режима воздуха, воды, атмосферных осадков, водности рек, показателей биопродуктивности оказывают значительное влияние на ин-

тенсивность развития экономики ряда регионов Российской Федерации [1, 11, 20, 22].

Внутренние моря Евразии, такие как Балтийское, Белое, Черное и Азовское обладают рядом уникальных природных особенностей, которые сложились под влиянием местных климатических параметров и ограниченной связи с океаном, замедленным водообменом. В бассейнах Белого, Балтийского, Чёрного и Азовского морей проживает весьма значительная часть населения страны и располагается основной промышленный и экономический потенциал. С приморским положением связано формирование такой важной отрасли, как рыболовство. В начале XXI в. общий улов в Балтийском, Белом, Черном и Азовском морях приблизился к 2 млн т в год. Высокие вкусовые качества промысловых рыб, близость промысла к крупным районам потребления, возможность оперативной доставки свежей рыбы для снабжения населения и развитая сеть перерабатывающих предприятий обусловили особую экономическую выгоду при эксплуатации биологических ресурсов внутренних морей России [2, 11, 17, 24]. В связи с этим возникает необходимость в разработке принципов и методических подходов к оценке устойчивости экосистем внутренних морей к климатическим изменениям. Знание потенциальной устойчивости компонентов морской экосистемы, в том числе популяций промысловых рыб, к прогнозируемым климатическим изменениям позволит оценить природно-ресурсный потенциал и выработать необходимые решения для рациональной его эксплуатации.

Целью работы является разработка методических принципов и подходов к оценке устойчивости экосистем внутренних морей к климатическим изменениям на основе учета их характерных природных особенностей.

### **1. Подходы к оценке устойчивости экосистем**

Устойчивость экосистемы – это способность отдельных ее частей противостоять колебаниям внешних факторов и сохранять свою структуру и функциональные особенности. Выделяют два основных типа устойчивости экосистем. *Резистентная* устойчивость – это способность экосистемы сопротивляться внешним воздействиям, поддерживая длительное время неизменной свою структуру и функции. *Упругая* устойчивость – это способность системы восстанавливаться после того, как ее структура и функция были нарушены под влиянием изменений, превосходящих норму. Как правило, при благоприятных физических условиях среды экосистемы в большей степени проявляют резистентную устойчивость, а не упругую, но в изменчивых физических условиях наблюдается преобладание упругой устойчивости [7, 8, 19].

Устойчивость биотической компоненты экосистемы (биоценоза) обычно достаточно высокая, если большинство организмов способны нормально функционировать в широком диапазоне значений физических и химических параметров окружающей среды, т.е. преобладающая часть биоты является *эврибионтами*. Если же биоценоз может существовать в весьма ограниченном диапазоне

значений параметров окружающей среды, т.е. большинство его представителей являются *стенобионтами*, или многие виды незаменимы в своих функциях, такое сообщество оказывается в большинстве случаев неустойчивым, или *динамически хрупким* [9, 10, 22]. С точки зрения антропогенного воздействия на устойчивость компонентов морских экосистем, представляет значительный интерес также концепция «ассимиляционной емкости», предложенная Ю.А. Израэлем [15].

Таким образом, для решения проблемы оценки устойчивости экосистем Балтийского, Белого, Черного и Азовского морей необходим комплексный анализ влияния основных климатообразующих процессов, параметров океанологического и гидрологического режимов, видового состава и структуры биологических сообществ и связей между ними. Структурная схема или алгоритм оценки устойчивости экосистем внутренних морей должна основываться на учете целого ряда процессов и факторов, многие из которых взаимосвязаны (рис. 1).

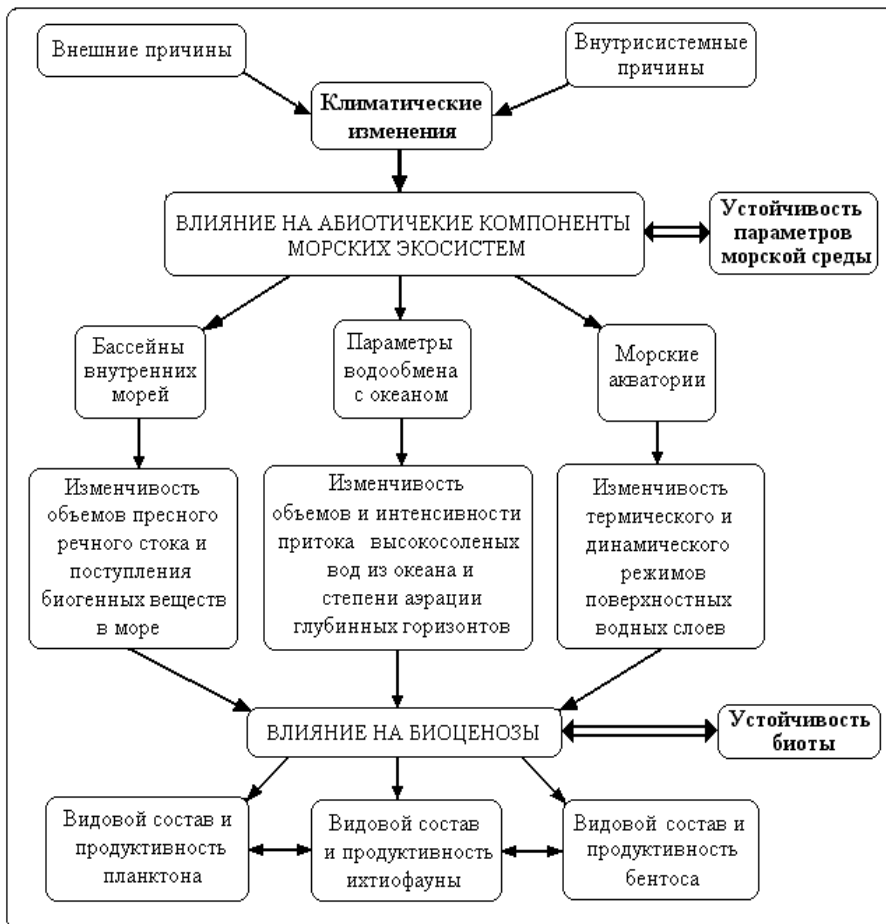


Рис. 1. Структурная схема связей между природными процессами и характеристиками, которые необходимо учитывать при оценке устойчивости экосистем внутренних морей

При непосредственной оценке степени устойчивости конкретных морских акваторий представляется целесообразным основываться на более детальной схеме, представленной на рис. 2.

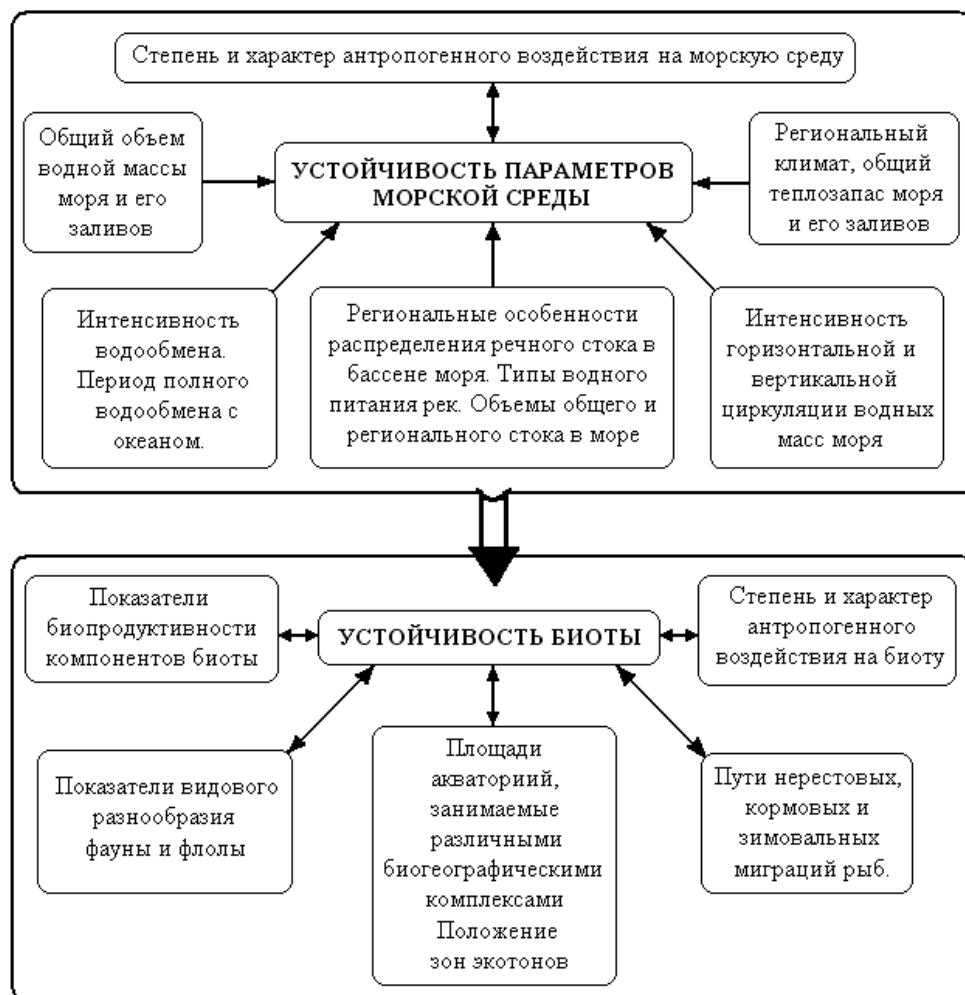


Рис. 2. Детализированная схема связей между процессами и характеристиками, определяющими устойчивость параметров морской среды и биоты внутренних морей

## **2. Природные особенности Балтийского, Белого, Черного и Азовского морей, определяющие степень устойчивости их экосистем**

Для морей Северо-Западного региона России, и в особенности для Балтийского моря, преобладающее влияние интенсивности переноса тепла и влаги с Атлантического океана прослеживается практически круглогодично. Балтика

наиболее близка к Северной Атлантике и в наибольшей степени зависит от циркуляции атмосферы над этим регионом. Белое море подвергается в значительной степени также влиянию процессов, происходящих над Северным Ледовитым океаном, выражающихся, прежде всего, в степени развития и пространственном положении Арктического антициклона. Гидрометеорологические процессы, происходящие в Азово-Черноморском регионе, зависят от более широкого круга причин. На акватории и бассейна Черного и Азовского морей оказывают заметное влияние не только Атлантические центры действия атмосферы, но и Сибирский антициклон (в осенне-зимнее время), а также циклоны средиземноморского происхождения, частота которых увеличивается в зимнее время. Арктический антициклон, по-видимому, непосредственного существенного влияния на климатические параметры Южного Федерального округа не оказывает, но его положение и выраженность может, очевидно, влиять на параметры других центров действия атмосферы, среди которых Северо-Атлантические и, возможно, Сибирский антициклон. Основные гидрологические характеристики Балтийского, Белого, Черного и Азовского морей, способные оказывать влияние на их устойчивость к климатическим изменениям, представлены в табл. 1.

*Таблица 1*

**Основные характеристики Балтийского, Белого, Черного и Азовского морей, способные оказывать влияние на устойчивость их экосистем к климатическим изменениям**

Характеристики	Моря			
	Балтийское	Белое	Черное	Азовское
Площадь, км <sup>2</sup>	419 тыс. км <sup>2</sup> [6]	90 тыс. км <sup>2</sup> [5]	422 тыс. км <sup>2</sup> [24]	39,1 тыс. км <sup>2</sup> [4]
Средний общий объем водной массы, км <sup>3</sup>	21,5 тыс. км <sup>3</sup> [6]	5400 км <sup>3</sup> [5]	555 тыс. км <sup>3</sup> [24]	290 км <sup>3</sup> [4]
Средняя глубина, м	51 [6]	67 [5]	1315 [24]	7,4 [4]
Средний суммарный речной сток, км <sup>3</sup>	433 [6, 12] р. Нева – 76	230 [5] р. Сев. Двина – 110	346 [24] р. Дунай – 201	44 [4] р. Дон – 32
Осадки на поверхность моря	700 мм [6]	500–600 мм [5, 23]	230 км <sup>3</sup> [24]	14–15 км <sup>3</sup> [4, 18]
Испарение с поверхности моря	300–400 мм [6]	200–250 мм [5, 23]	360 км <sup>3</sup> [24]	35,3 км <sup>3</sup> [4]
Средний период полного водообмена, лет	27–30 [6, 13]	1–2 [5, 23]	800–900 [24]	4–5 [4, 18]
Средняя многолетняя соленость воды, ‰	8 – 10 [6, 12]	28 [5]	19 [24]	11 [4, 18]

Балтийское море характеризуется наибольшим среди рассматриваемых морей объемом поступающего пресного речного стока, что на фоне значительного преобладания атмосферных осадков над испарением и существенно замедленного водообмена с океаном приводит к формированию пониженной солености, которая в среднем в 4 раза ниже океанической. Бассейн Балтики имеет значительную площадь, затрагивает районы с весьма различными климатическими

условиями – от наиболее холодных, находящихся за полярным кругом (бассейн р. Кеми-Йоки) до районов центральной и восточной Европы (реки Одер, Висла, Неман, Даугава, Нева и др.). В связи с этим наблюдается различный характер влияния циркуляции атмосферы на объемы регионального и общего речного стока: при росте градиентов давления между Азорским максимумом и Исландским минимумом траектории атлантических циклонов направлены преимущественно на северо-восток, что приводит к росту речного стока в Ботнический залив с территории Швеции и Финляндии и ослаблению стока рек, впадающих с южных районов водосбора. При снижении градиентов давления ситуация меняется на противоположную [12, 13, 20]. Объективным показателем интенсивности циркуляции атмосферы над Северной Атлантикой являются различные варианты индекса Северо-Атлантического колебания (North Atlantic Oscillation – NAO) [12, 21]. Таким образом, солёность поверхностных водных масс Балтики, в особенности, в центральных районах, оказывается достаточно устойчивой характеристикой по отношению к метеорологическим и гидрологическим процессам, что прослеживается в многолетнем периоде (рис. 3). Однако солёность глубинных вод Балтики преимущественно определяется поступлением водных масс из Северного моря, которое демонстрирует значительную межгодовую и многолетнюю изменчивость. Установлено, что наиболее интенсивное и длительное поступление высокосолёных трансформированных североморских вод в Балтийское море становится возможным при значениях NAO, близких к норме [12].

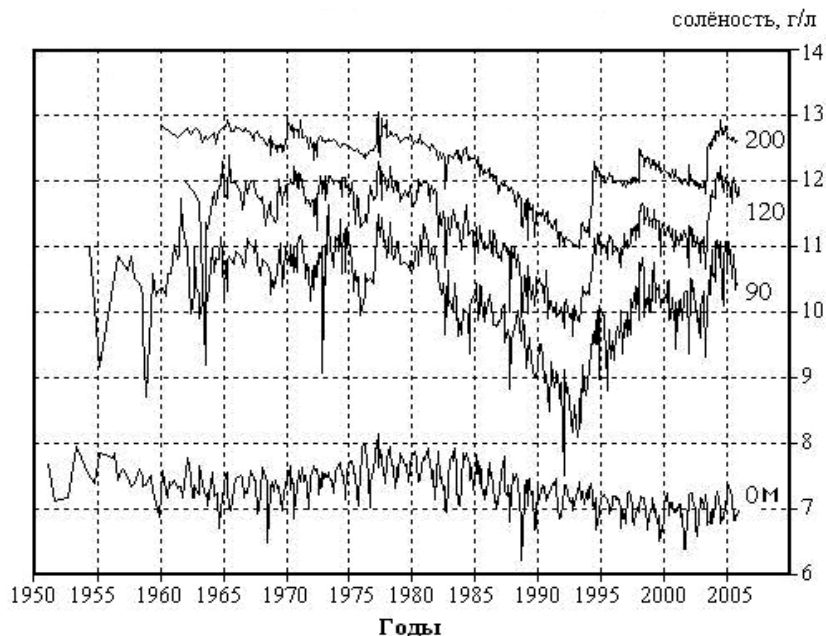


Рис. 3. Многолетняя динамика средних месячных значений солёности на поверхности и в толще вод Готландской впадины Балтийского моря [12]

Для биоценоза Балтийского моря, с учетом современных океанологических условий и долговременных тенденций эволюции начиная с послеледникового периода, характерно преобладание бореальных атлантических видов, как правило, демонстрирующих эвригалинность и эвритермность. Однако в Ботническом заливе, как в самом холодном районе моря, наиболее широко распространены реликтовые холодолюбивые виды арктического происхождения. В целом, всех рыб, обитающих в окрестностях и в пределах Балтийского моря, можно подразделить на 4 комплекса в зависимости от степени их распространения в море и чувствительности к низким или повышенным значениям солёности [11]. Это *океанический* комплекс, распространенный в районе пролива Каттегат, к которому принадлежат стеногалинные виды, способные жить и размножаться только в условиях, близких к океаническим, при солёности от 25 до 33 ‰ (крупные акулообразные, мерлузовые и аргентиновые рыбы, морские окуни из семейства скорпеновых и др.); *толерантный океанический* комплекс, включающий группу рыб и других гидробионтов, имеющих океаническое происхождение, но сумевших сформировать обособленные популяции в Балтийском море или способных сезонно проникать в его южные районы в период своих летних нагульных миграций из Атлантики, для жизни или размножения которых необходима солёность не менее 12–14 ‰ (балтийская треска и камбалообразные, скумбрия, пелагида, кефаль, сингиль, пятнистая колючая акула, гладкий и колючий скат и др.); *морской солоновато-водный* комплекс, состоящий из генетически морских рыб и других гидробионтов, которые смогли сформировать многочисленные самовоспроизводящиеся популяции не только в южных и в центральных, но также в восточных и северных, наиболее опреснённых районах моря (балтийская сельдь и шпрот); *континентальный солоноватоводный* комплекс, размножение представителей которого успешно осуществляется при солёности, не превышающей 2 ‰, однако взрослые особи некоторых видов рыб из этого комплекса могут нагуливаться и в районах с солёностью до 5–8 ‰ (карпообразные и окунеобразные рыбы) [23]. Расположение популяций представителей данного комплекса ограничивается опреснёнными участками устьев рек и вершинами заливов в Северной и Восточной Балтике [11, 12, 23]. Общее видовое разнообразие Балтийского моря по сравнению с другими морями Атлантического океана по причине пониженной солености его вод невелико. Средняя для моря соленость в 8–10 ‰ оказывается неоптимальной как для морских, так и для пресноводных организмов. Количество видов обитающих видов рыб около 110.

В Белом море приток речных вод, по оценкам разных авторов [5, 22], в 2–3 раза превосходит величины испарения с его акватории. Однако, несмотря на значительное поступление пресной воды на территорию бассейна соленость вод Белого моря лишь немного ниже океанической. Это определяется наличием достаточно широкого и относительно глубоководного (30–50 м) пролива в северной части моря (район Горла), соединяющего его с Баренцевым морем и ак-

тивным водообменом между морями через этот пролив, включающим течения Доронина и Дерюгина. Полный обмен водной массы Белого моря осуществляется очень быстро – всего за 1–2 года. Существенные градиенты солености отмечаются только в устьях крупных рек, впадающих в Белое море, среди которых Северная Двина, Онега и Мезень. Основная часть объема речных вод, впадающих в море (60–70 %), приходится на его южные районы. В связи с естественной зарегулированностью озерами многих малых рек, распределение из стока в течение года происходит относительно равномерно. Максимум стока крупных рек наблюдается весной и составляет до 40 % годового стока. Характерной особенностью Белого моря является наличие относительно прогретой летом поверхностной водной массы (0–15 м), промежуточной с температурой около 1 °С и глубинной, с температурой, близкой к точке замерзания. Однако интенсивное приливное перемешивание поверхностных водных слоев способствует сглаживанию градиентов значений солености и температуры воды. Биоценозы Белого моря включают преимущественно виды арктического происхождения, адаптированные к жизни в условиях пониженной температуры воды и способных выдерживать ее сезонные изменения, которые характерны для поверхностных слоев. В то же время большинство представителей донной фауны, включая иглокожих, моллюсков, губок и др. являются стеногалинными видами. Глубоководные обитатели демонстрируют также и стенотермные свойства. Сдерживающим рост видового разнообразия фактором является весьма низкая температура воды, свойственная промежуточным и глубинным горизонтам моря. Общее количество обитающих видов рыб составляет около 50 [23].

Черное море обладает наибольшим среди рассматриваемых морей объемом воды и временем полного водообмена своей водной массы. Теплота запас вод этого моря, с учетом его расположения в климатической зоне южной Европы, также оказывается максимальным, что определяет повышенную устойчивость температурных условий. Циркуляция вод в море охватывает только поверхностный слой воды, обычно до глубин, не превышающих 100 м. Данный слой воды имеет солёность около 18 ‰. В верхнем перемешиваемом слое солёность относительно стабильна, но глубже 100–150 м резко увеличивается до 20–21 ‰. Солёность на глубинах более 1500 м возрастает до 22–22,5 ‰, средняя температура составляет около 8,5 °С. На выходе из Босфора солёность поверхностных вод составляет около 30 ‰, но быстро снижается в процессе взаимодействия с черноморскими водами. В море наблюдается круговая циркуляция преобладающей циклонической направленности. Температура поверхностных слоёв воды, в зависимости от времени года, обычно колеблется от 5–8 до 30 °С. Величина атмосферных осадков, поступления вод из Азовского моря и речного стока превышают величину испарения с поверхности, вследствие чего уровень Чёрного моря превышает уровень Мраморного. Благодаря этому формируется верхнее течение, направленное из Чёрного моря через пролив Босфор. Нижнее течение выражено менее сильно и направлено через Босфор в обратном направлении и



приносит в среднем ежегодно  $170 \text{ км}^3$  средиземноморской воды. Взаимодействие данных течений дополнительно поддерживает вертикальную стратификацию моря. Следует подчеркнуть, что вертикальный градиент значений солености в Черном море значительно меньше, чем в Балтийском, поэтому вертикальная плотностная устойчивость водных масс здесь ниже. В случае изменения водного и пресного баланса и увеличения поверхностной солености Черного моря всего на 3–4 ‰ становится возможным подъем глубинных вод, содержащих сероводород к поверхности и гибель подавляющей части биоценоза. Тем не менее, такая ситуация представляется маловероятной, так как бассейны крупнейших рек впадающих в Черное море расположены в различных регионах. Бассейн Дуная затрагивает южно-европейский регион, а бассейны Днестра и Днепра расположены севернее и находятся в пределах центрально-европейского и восточно-европейского регионов. Поэтому изменения в параметрах атмосферной циркуляции и направлении движения циклонов, несущих влажный воздух с Атлантики или из региона Средиземного моря, от чего в свою очередь зависит выпадение осадков, не должны весьма значительно влиять на объемы поступления пресных речных вод в Черное море.

Видовой состав современного биоценоза Черного моря сформировался из различных групп, среди которых немногочисленные представители пресноводного происхождения, обитающие в устьях рек, типично морские виды: относительно холодолюбивые иммигранты из Северной Атлантики, в солоноватоводных лиманах присутствуют представители древней фауны Понто-Каспийского происхождения. Однако наибольшую группу по численности составляют средиземноморские вселенцы (до 100 видов рыб из 160 известных). В целом, большинство черноморских гидробионтов адаптированы к жизни в условиях солености от 12–15 до 18 ‰.

Азовское море – самое маленькое и мелководное среди морей мира. Температурный режим его более суровый, чем соседнего Черного моря. Обладая малым тепловым запасом вод, каждую зиму Азов покрывается постоянными или дрейфующими ледовыми полями. При малых размерах Азовское море получает сравнительно много речной воды, количество которой составляет около 12 % его объема. Отношение речного стока к объему Азовского моря наибольшее из всех морей земного шара. Превышение поступления речных и атмосферных вод над испарением с поверхности моря повело бы к его нарастающему опреснению и повышению его уровня, если бы не было водообмена с Черным морем. В результате этого водообмена в Азовском море установилась соленость, относительно благоприятная для обитания в нем ценных промысловых рыб. Однако наблюдаются значительные колебания соленостных условий, вызванные климатическими изменениями и динамикой стока рек Дон и Кубань, а также забором воды из этих рек на хозяйственные нужды [16,17]. Таким образом, мы видим, что компоненты экосистемы Азовского моря весьма динамичны. Всего в состав ихтиофауны входит около 80 видов солоноватоводного и морского комплексов.

**3. Методические принципы оценки устойчивости экосистем внутренних морей к климатическим изменениям**

На основе анализа природных особенностей экосистем Балтийского, Белого, Черного и Азовского морей можно прийти к выводу о том, что наиболее значимым экологическим фактором, определяющими устойчивость характеристик морских биоценозов, является соленость воды, которая демонстрирует наиболее выраженные межгодовые и многолетние колебания в Балтийском и Азовском морях. Роль температуры воды и ее изменчивости также существенна. В табл. 2 представлено обобщение физико-географических процессов и характеристик, способных оказывать влияние на степень устойчивости значений солености и температуры воды во внутренних морях.

Таблица 2

**Процессы и характеристики, влияющие на устойчивость важнейших параметров абиотической среды внутренних морей**

Соленость воды			Температура воды		
№	Высокая устойчивость	Малая устойчивость	№	Высокая устойчивость	Низкая устойчивость
1	Интенсивный водообмен внутреннего моря с океаном	Замедленный водообмен внутреннего моря с океаном	1	Относительно большой объем водной массы моря и высокий теплозапас	Относительно малый объем водной массы моря и низкий теплозапас
2	Относительно большой объем водной массы моря	Относительно малый объем водной массы моря	2	Малая площадь мелководных заливов	Высокая площадь мелководных заливов
3	Значительное приливное перемешивание водных масс	Слабое приливное перемешивание водных масс	3	Незначительная протяженность моря по меридиану, нахождение в пределах одной природно-климатической зоны	Значительная протяженность моря по меридиану, нахождение в пределах нескольких природно-климатических зон
4	Относительно небольшой объем речного стока	Относительно большой объем речного стока	4	Наличие выраженной и устойчивой системы поверхностных течений	Наличие слабо выраженной и неустойчивой системы поверхностных течений
5	Соотношение между осадками и испарением с поверхности моря, близкое к 1	Соотношение между осадками и испарением с поверхности моря, существенно большее или меньше 1	5	Влияние совокупности внутрисистемных климатообразующих процессов с преобладающим влиянием одного из них	Влияние совокупности внутрисистемных климатообразующих процессов со значительным влиянием нескольких из них

Аналитическое выражение для оценки степени устойчивости абиотических компонентов экосистем внутренних морей к климатическим изменениям представляется в виде следующей, разработанной авторами статьи функции:

$$\text{Stabl. } A = f(\alpha + \beta + \gamma + \delta + \lambda + \chi + \omega_1), \quad (1)$$

где  $\alpha = V_{\text{вм}}/Q_{\text{пол.}}$  ( $V$  – объем водной массы моря;  $Q$  – период полного водообмена);  $\beta = V_{\text{вм}}/V_{\text{реч.ст}}$  ( $V$  – объем водной массы моря;  $V_{\text{реч.ст}}$  – объем суммарного речного стока в море);  $\gamma = P/E$  ( $P$  – объем атмосферных осадков на поверхность моря);  $\delta$  – индекс, отражающий площади мелководных заливов и среднюю глубину моря;  $\lambda$  – индекс устойчивости поверхностных течений;  $\chi$  – индекс сложности климатообразования с учетом географического положения моря и его бассейна;  $\omega$  – обобщенный индекс антропогенного воздействия на абиотические параметры морской экосистемы (изъятие части стока впадающих рек на нужды сельского хозяйства и промышленности, строительство дамб и т.д.).

Аналитическое выражение для оценки степени устойчивости биотических компонентов экосистем внутренних морей к климатическим изменениям представляется в виде следующей разработанной авторами статьи функции:

$$\text{Stabl. B.} = f(\psi + v + \tau + \varphi + \omega_2), \quad (2)$$

где  $\psi$  – общее количество видов планктонных организмов;  $v$  – общее количество видов макрозообентоса;  $\tau$  – общее количество видов рыб;  $\varphi = Ev/Sten$  (соотношение между количеством видов эврибионтов и стенобионтов);  $\omega_2$  – обобщенный индекс антропогенного воздействия на биотические параметры морской экосистемы (антропогенное токсическое загрязнение, влияние на концентрации биогенов и содержание растворенного кислорода, интенсивность промысла и т.д.).

## Заключение

Рассмотрение и анализ совокупности климатических, океанологических, гидрологических и гидробиологических характеристик и особенностей их многолетней изменчивости в регионах Балтийского, Белого, Черного и Азовского морей [11, 12, 13, 14, 22, 24] с целью установления принципов оценки устойчивости их экосистем к климатическим изменениям позволяет сформулировать следующие основные выводы.

1. Для Балтийского, Белого, Черного и Азовского морей свойственен ряд уникальных природных особенностей, которые определяются, прежде всего, сочетанием крупномасштабных и региональных климатообразующих процессов, а также геологическими факторами, приводящими к ограничению в различной степени водообмена с океаном. Многолетняя и межгодовая динамика абиотических и биотических параметров морской среды в Балтийском и Азовском морях является одной из наиболее выраженных среди всех морей мира, что предполагает повышенную сложность происходящих в них процессов и необходимость дальнейшего их изучения. Обладая весьма высокой биологической продуктивностью и значительными рыбными запасами, все внутренние моря одновременно являются одними из наиболее уязвимых в мире к воздействию климатических изменений и загрязнителей, которые способны существенно и быстро повлиять на эффективность воспроизводства промысловых гидробио-

нтов и экосистем в целом.

2. Алгоритм оценки устойчивости экосистем внутренних морей к климатическим изменениям должен основываться на учете целого ряда процессов и факторов, многие из которых взаимосвязаны. Очевидно, что устойчивость промыслово-гидробиологических характеристик, с учетом разнородного состава биоценологических группировок, каждая из которых обладает своими адаптациями к абиотическим параметрам среде обитания, находится в весьма тесной связи с устойчивостью океанологических и гидрологических характеристик. Предложенные структурные схемы связей между природными процессами и характеристиками, которые необходимо учитывать при оценке устойчивости экосистем внутренних морей к климатическим изменениям, могут быть основой для разработки аналитических прикладных методов оценки устойчивости.

3. В первом приближении, предложены аналитические выражения, включающие комплекс параметров и индексов, обозначенных в функциях (1) и (2), позволяющие произвести оценки степени устойчивости абиотических и биотических компонентов экосистем внутренних морей к климатическим изменениям. Согласно предварительным расчетам, по совокупности используемых параметров, наибольшей устойчивостью к климатическим изменениям обладает экосистема Белого моря. Далее, получив незначительно меньшую оценку устойчивости, следует Черное море. Экосистема Балтийского моря оказывается существенно ниже по своей устойчивости, чем Черное море. Наиболее неустойчивой экосистемой среди рассматриваемых внутренних морей, оказывается Азовское море.

### **Литература**

1. *Алхименко А.П.* Актуальные проблемы географии океана // Мировой океан, водоемы суши и климат. Труды XII съезда русского географического общества. Т. 5. СПб., 2005, с. 3-7.
2. *Воловик С.П., Чихачев А.С.* Антропогенные преобразования ихтиофауны Азовского моря // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна // Труды АзПИИРХ. Ростов-на-Дону, 1999, с. 7-23.
3. *Воловик С.П., Корпакова И.Г., Конев Ю.В. и др.* Состояние ихтиофауны, запасов промысловых рыб и рыбохозяйственная значимость юго-восточного района Азовского моря // Наука Кубани, 2005, № 1, с. 41-52.
4. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 5. Азовское море. Вып. 1. – Л.: Гидрометеоздат, 1991. – 237 с.
5. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 2. Белое море. Вып. 1. – Л.: Гидрометеоздат, 1991. – 240 с.
6. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 3. Балтийское море. Вып. 1. – СПб.: Гидрометеоздат, 1994. – 242 с.
7. *Дмитриев В.В., Фрумин Г.Т.* Экологическое нормирование и устойчивость природных систем. Уч. пос. СПбГУ – РГГМУ. – СПб.: Наука, 2004. – 294 с.
8. *Дмитриев В.В.* Методика диагностики состояния и устойчивости водных экосистем // Эколого-географический анализ состояния природной среды: проблема устойчивости геоэкосистем. – СПб., 1995, с. 41–67.
9. *Дмитриев В.В.* Оценка уязвимости водоемов к внешним воздействиям. «Экология. Безопасность. Жизнь. Экологический опыт гражданских, общественных инициатив», Гатчина, вып. 10, 2000, с. 284–296.

10. *Дмитриев В.В., Огурцов А.Н., Васильев В.Ю., Третьяков В.Ю.* Многокритериальная оценка экологического состояния и устойчивости геосистем на основе метода сводных показателей. IV. Токсическое загрязнение воды и грунтов // Вестник СПбГУ. Сер.7, вып. 1, изд. СПбГУ, 1999, с. 40–53.
11. *Дроздов В.В., Смирнов Н.П., Гасанова Э.Г.* Влияние солёности воды на состав сообществ и формирование зон экотонов в Балтийском море // Уч. зап. РГГМУ, 2005, с. 109–136.
12. *Дроздов В.В., Смирнов Н.П.* Колебания климата и донные рыбы Балтийского моря. – СПб.: РГГМУ, 2009. – 249 с.
13. *Дроздов В.В.* Особенности многолетней изменчивости гидрологического режима Балтики и причины возникновения экстремальных параметров водообмена с Северным морем // Изв. Русск. геогр. общ-ва, изд. РГО, № 3. СПб., 2010.
14. *Дроздов В.В.* Особенности многолетней динамики экосистемы Азовского моря под влиянием климатических и антропогенных факторов // Уч. зап. РГГМУ, 2010, № 15, с. 155–176.
15. *Израэль Ю.А., Цыбань А.В.* Антропогенная экология океана. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 528 с.
16. *Макаров Э.В., Семёнов А.Д.* Экологические аспекты проблемы развития рыбного хозяйства в Азовском море // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоёмов Азово-Черноморского бассейна // Тр. АЗНРШРХ. Ростов-на-Дону, 1996, с. 4-20.
17. *Матишов Г.Г., Ю.М. Гаврилов, С.В. Бердников, С.Л. Дженюк.* Закономерности экосистемных процессов в Азовском море. Южн. науч. центр. РАН. – М.: Наука, 2006. – 304 с.
18. *Михайлов В. Н., Эдельштейн К. К.* Оценка устойчивости и уязвимости водных экосистем с позиций гидроэкологии // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География, 1996, № 3, с. 28-34.
19. *Патин А.* Влияние загрязнения на биологические ресурсы и продуктивность мирового океана. – М.: Пищепромиздат, 1979. – 379 с.
20. *Смирнов Н.П., Воробьёв В.Н., Кочанов С.Ю.* Северо-Атлантическое колебание и климат. – СПб.: изд. РГГМУ, 1998. – 121 с.
21. *Снакин В.В., Мельченко В.Е., Бутовский Р.О. и др.* Оценка состояния и устойчивости геосистем. – М.: ВНИИ природа, 1992. – 127 с.
22. *Филатов Н.Н., Терзевик А.Ю.* Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. – 349 с.
23. *Хлебович В.В.* Критическая солёность биологических процессов. – Л.: Наука, 1974. – 233 с.
24. *Вылканов А., Данов Х., Маринов Х. и др.* Чёрное море: Сборник / Пер. с болг. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 408 с.